



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**DETEKSI LOKASI GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI  
DENGAN PERCABANGAN MENGGUNAKAN METODE  
GELOMBANG BERJALAN**

Radhyana Alamah Amania  
NRP 2212106082

Dosen Pembimbing  
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

***DETECTION OF FAULT LOCATION IN DISTRIBUTION  
NETWORKS WITH BRANCHING USING TRAVELING WAVE  
METHOD***

Radhyana Alamah Amania  
NRP 2212106082

Supervisor  
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**DETEKSI LOKASI GANGGUAN PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI DENGAN PERCABANGAN  
MENGUNAKAN METODE GELOMBANG  
BERJALAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.**

**NIP.197309271998031004**

**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.**

**NIP.197007121998021001**



**SURABAYA  
JANUARI, 2015**

# **Deteksi Lokasi Gangguan Pada Jaringan Distribusi Dengan Percabangan Menggunakan Metode Gelombang Berjalan**

Nama Mahasiswa : Radhyana Alamah Amania  
NRP : 2212106082  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
NIP : 197309271998031004  
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.  
NIP : 197007121998021001

## **ABSTRAK**

Pada beberapa kasus di sistem distribusi, gangguan sering kali terjadi dan lokasi gangguan sulit untuk dideteksi. Dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk menemukan lokasi titik gangguan tersebut. Pada tugas akhir ini, dilakukan perhitungan lokasi titik gangguan menggunakan gelombang berjalan untuk mempercepat proses perbaikan setelah gangguan. Pada saluran distribusi, besarnya arus gangguan dapat mengindikasikan lokasi terjadinya gangguan, hal ini dapat dianalisa melalui perambatan sinyal arus balik saat terjadi gangguan. Gelombang akan merambat menyebar ke kedua arah ujung saluran dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Ketika terjadi gangguan inilah tegangan dan arus titik gangguan tiba-tiba menurun sampai ke nilai rendah. Perubahan secara tiba-tiba ini yang menghasilkan dorongan energi elektromagnetik frekuensi tinggi. Perhitungan estimasi lokasi gangguan secara umum dilakukan dengan menghitung selisih waktu tunda antara gelombang arus datang (maju) yaitu puncak pertama saat terjadi gangguan dan gelombang arus refleksinya yaitu puncak gelombang berikutnya yang di deteksi sebagai arus mundur nya. Dari penelitian ini diperoleh eror terbesar 8.75 %.

**Kata Kunci :** Gangguan Hubung singkat, Gelombang Berjalan, Sistem Distribusi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ***Detection of Fault Location in Distribution Networks With Branching Using Traveling Wave Method***

Name	: Radhyana Alamah Amaniah
NRP	: 2212106082
Supervisor I	: Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP	: 197309271998031004
Supervisor II	: Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc.
NIP	: 197007121998021001

### **ABSTRACT**

In some cases in the distribution system, disturbances often occur and fault location is difficult to detect. It takes a long time to find the location of the fault point. In this thesis, the location calculation using the interruption point wave to accelerate the repair process after disturbance. By using traveling wave method, used analysis of high frequency voltages and currents in the distribution system. Waves will propagate spread to both ends of the channel direction at speeds approaching the speed of light. When this interference voltage and current interruption point suddenly falls to a low value. Sudden change is that generate high-frequency electromagnetic energy boost. Calculation of fault location estimation is generally done by calculating the difference in time delay between the current wave coming (forward) ie when the first peak current wave interference and reflection are the next wave crest in detection as its backward flow.

***Index Terms :***    *Short-Circuit, Travelling Wave, Distribution System*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Deteksi Lokasi Gangguan Pada Jaringan Distribusi Dengan Percabangan Menggunakan Metode Gelombang Berjalan”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Dr.Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. dan Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., MSc. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama tugas akhir.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Keluarga Lab. B103, yang telah meluangkan waktu dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
7. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2012 semester genap bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2015

Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
 <b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
1.7 Relevansi.....	3
 <b>BAB II      SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI DAN                  GELOMBANG BERJALAN</b>	
2.1 Sistem Jaringan Distribusi.....	5
2.1.1 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik .....	6
2.1.2 Komfigurasi Sistem Jaringan Distribusi .....	7
2.2 Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	13
2.2.1 Gangguan Hubung singkat satu Fasa ke Tanah.....	14
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	15
2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	15
2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	16
2.3 Komponen – Komponen Simetris .....	17
2.4 Teori Gelombang Berjalan.....	19
2.4.1 Pantulan Pada Gelombang Berjalan.....	21
2.4.2 Titik Peralihan Pada Dua Kawat.....	22
2.4.3 Titik Peralihan Pada Beberapa Kawat.....	23

2.4.4 Kecepatan Merambat.....	24
2.4.5 Impedansi Surja.....	25
2.4.6 Diagram Tangga.....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Unjuk Kerja Sistem.....	29
3.2 Gelombang Gejala Pada Kawat Tiga Fasa.....	29
3.3 Simulasi Pemodelan sistem .....	31
3.4 Metode Pengerjaan Deteksi Lokasi Gangguan .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS</b>	
4.1 Simulasi.....	33
4.2 Pemodelan Simulasi.....	33
4.3 Hasil Pengujian dan Analisis.....	35
4.3.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	35
4.3.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah .....	45
4.3.3 Gangguan Tiga Fasa ke Tanah .....	55
4.3.4 Gangguan Fasa ke Fasa .....	59
4.4 Perbandingan Dengan Pemodelan Lain.....	63
4.4.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	64
4.4.2 Gangguan Hubung Singkat lainnya.....	70
4.5 Gangguan Hubung Singkat Pada Lebih Dari Satu Titik.....	75
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Operator”a’ .....	18
Tabel 4.1	Gangguan Satu Fasa ke Tanah .....	45
Tabel 4.2	Gangguan Dua Fasa ke Tanah .....	54
Tabel 4.3	Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah .....	59
Tabel 4.4	Gangguan Fasa ke Fasa.....	63
Tabel 4.5	Akumulasi jarak gangguan satu fasa ke tanah dengan pemodelan lain .....	63
Tabel 4.6	Akumulasi Gangguan Hubung Singkat .....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Pendistribuan Tenaga Listrik .....	5
Gambar 2.2	Jaringan Radial Tipe Pohon .....	8
Gambar 2.3	Jaringan Radial deng <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah .....	9
Gambar 2.4	Jaringan Radial dengan Pusat Beban .....	10
Gambar 2.5	Jaringan Radial dengan Pembagian <i>Phase Area</i> .....	10
Gambar 2.6	Jaringan Distribusi Ring .....	11
Gambar 2.7	Jaringan Distribusi Spindal .....	12
Gambar 2.8	Jaringan Distribusi Jaring-Jaring .....	12
Gambar 2.9	Jaringan Radial Interkoneksi.....	13
Gambar 2.10	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	14
Gambar 2.11	Gangguan Hubung singkat Dua fasa .....	15
Gambar 2.12	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah .....	16
Gambar 2.13	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	16
Gambar 2.14	Gambar Fasor Rangkaian Positif .....	17
Gambar 2.15	Diagram Fasor Urutan Negatif .....	17
Gambar 2.16	Gambar Fasor Urutan Nol .....	18
Gambar 2.17	Bentuk Gelombang Impuls Tegangan .....	20
Gambar 2.18	Gelombang Tegangan pada Peralihan .....	23
Gambar 2.19	Sistem dan rangkaian Ekvialen .....	23
Gambar 2.20	Pantulan Pada Titik Peralihan Tiga Kawat .....	24
Gambar 2.21	Diagram Tangga .....	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Perhitungan Lokasi Gangguan.....	32
Gambar 4.1	Pemodelan Simulink .....	34
Gambar 4.2	Sinyal Output Pada Saat Tidak Ada Gangguan.....	35
Gambar 4.3	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 1.149km..	36
Gambar 4.4	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 1.998 km	37
Gambar 4.5	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 2.447km...	38
Gambar 4.6	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 2.796km...	39
Gambar 4.7	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 3.749km...	40
Gambar 4.8	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 3.994 km..	40
Gambar 4.9	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 4.543 km..	41
Gambar 4.10	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 4.842 km..	42
Gambar 4.11	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 5.641km ..	43
Gambar 4.12	Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Jarak 6.49 km....	44
Gambar 4.13	Gangguan Dua Fasa ke Tanah Pada Jarak 1.149km....	46
Gambar 4.14	Gangguan Dua Fasa ke Tanah Pada Jarak 1.998km....	47
Gambar 4.15	Gangguan Dua Fasa ke Tanah Pada Jarak 2.447km....	47

Gambar 4.16	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 2.796km.....	48
Gambar 4.17	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 3.745km.....	49
Gambar 4.18	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 3.994km.....	50
Gambar 4.19	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 4.543km.....	51
Gambar 4.20	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 4.842km.....	52
Gambar 4.21	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 5.64km.....	53
Gambar 4.22	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 6.49km.....	54
Gambar 4.23	Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 1.149km.....	55
Gambar 4.24	Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 1.998km.....	56
Gambar 4.25	Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 2.447km.....	57
Gambar 4.26	Gangguan tigaa fasa ke tanah pada jarak 2.796 .....	57
Gambar 4.27	Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 3.745.....	58
Gambar 4.28	Gangguan fasa ke fasa pada jarak 1.149km.....	59
Gambar 4.29	Gangguan fasa ke fasa pada jarak 1.998km.....	60
Gambar 4.30	Gangguan fasa ke fasa pada jarak 2.447km.....	61
Gambar 4.31	Gangguan fasa ke fasa pada jarak 2.796km.....	61
Gambar 4.32	Gangguan fasa ke fasa pada jarak 3.745km.....	62
Gambar 4.33	Pemodelan lain sebagai pembanding.....	63
Gambar 4.34	Gelombang asli gangguan satu fasa.....	64
Gambar 4.35	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 1.149km .....	64
Gambar 4.36	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 1.998km .....	65
Gambar 4.37	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 2.447km .....	66
Gambar 4.38	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 2.796km .....	66
Gambar 4.39	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 3.745km .....	67
Gambar 4.40	Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 3.994km .....	68
Gambar 4.41	Gangguan Satu fasa ke tanah pada jarak 4.543km.....	69
Gambar 4.42	Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 1.149km.....	70
Gambar 4.43	Gangguan tigaa fasa ke tanah pada jarak 1.998km.....	71
Gambar 4.44	Gangguan dua fasa pada jarak 2.447 km .....	71
Gambar 4.45	Gangguan dua fassa ke tanah pada jarak 2.796km ....	72
Gambar 4.46	Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 3.745km.....	73
Gambar 4.47	Gangguan tiga fasa pada jarak 3.994km.....	73
Gambar 4.48	Gangguan dua fasa pada jarak 4.54km .....	74
Gambar 4.49	Gangguan pada jarak 1.998km dan 4.543km.....	75
Gambar 4.50	Gangguan pada jarak 1.998km .....	76
Gambar 4.51	Gangguan pada jarak 4.543km .....	76



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saluran distribusi tenaga listrik tidak dapat terlepas dari berbagai macam gangguan, baik yang bersifat temporer atau sesaat maupun yang bersifat permanen. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat tersebut bila dibiarkan terlalu lama akan banyak berpengaruh terhadap keandalan sistem, keamanan dan kualitas energi yang dikirim. Dengan demikian mengingat semakin pesatnya kebutuhan akan tenaga listrik baik ke pusat-pusat industri maupun kebutuhan listrik rumah tangga, maka untuk menjamin kontinuitas dan kualitas tenaga listrik yang diterima oleh konsumen, perlu adanya peningkatan terhadap sistem pelayanan yang diberikan oleh pihak penyedia tenaga listrik[1].

Dengan mengetahui lokasi yang akurat dari gangguan pada sistem distribusi dapat menghemat waktu dan sumber daya bagi industri penghasil listrik. Informasi data yang akurat mengenai lokasi gangguan dibutuhkan sehingga dapat menghemat waktu dan sumber daya yang ada dan juga mempercepat pemulihan tenaga listrik [2].

Pada saluran distribusi yang dikarakteristikan mempunyai beberapa cabang saluran, saluran tidak simetris, dan beroperasi dengan besaran fasa tidak seimbang, serta besarnya beban yang berubah-ubah setiap waktunya, diperlukan metode pendeteksian lokasi gangguan secara tepat[3]. Penelitian untuk mengetahui lokasi gangguan secara tepat dan cepat untuk gangguan pada jaringan distribusi dengan titik percabangan sangat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan. Dengan menggunakan metode gelombang berjalan digunakan analisis frekuensi tinggi tegangan dan arus pada sistem distribusi. Gelombang berjalan merambat menyebar ke saluran dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Ketika terjadi gangguan inilah tegangan dan arus titik gangguan tiba-tiba menurun sampai ke nilai rendah. Perubahan secara tiba-tiba ini yang menghasilkan dorongan energi elektromagnetik frekuensi

tinggi [4]. Perhitungan estimasi lokasi gangguan secara umum dilakukan dengan menghitung selisih waktu tunda antara gelombang arus datang (maju) yaitu puncak pertama saat terjadi gangguan dan gelombang arus refleksinya yaitu puncak gelombang berikutnya yang dideteksi sebagai arus mundur [5]

## **1.2 Perumusan Masalah**

Studi pengkajian tugas akhir diarahkan pada permasalahan mengenai :

1. Menganalisa gelombang berjalan yang diakibatkan oleh gangguan sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi dari gangguan.

## **1.3 Batasan Masalah**

Mengingat ruang lingkup yang luas pada pendeteksian gangguan, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Sebelum gangguan terjadi, sistem dalam keadaan seimbang
2. Beban terpasang adalah beban statis
3. Sistem yang dipakai adalah sistem distribusi pola radial tegangan menengah 20kV dengan saluran yang bercabang.
4. Pengujian deteksi lokasi gangguan ini dilakukan dalam bentuk simulasi program.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Membuat simulasi dan menganalisa penggunaan gelombang berjalan untuk mendeteksi lokasi dari gangguan.

## **1.5 Metodologi**

Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut :

1. Studi literature
2. Pemodelan
3. Simulasi
4. Analisa kinerja
5. Penyusunan Laporan

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Untuk memudahkan pembahasan, maka tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

1. BAB I  
Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, sistematika pembahasan, tujuan dan relevansi.
2. BAB II  
Menjelaskan tentang berbagai teori dasar yang merupakan teori penunjang pelaksanaan tugas akhir
3. BAB III  
Menjelaskan tentang rancangan simulasi, serta metode yang digunakan untuk mendapatkan titik lokasi gangguan.
4. BAB IV  
Membahas tentang hasil dari simulasi penentuan lokasi gangguan dengan menggunakan gelombang berjalan.
5. BAB V  
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

## **1.7 RELEVANSI**

Dengan menganalisa dari hasil simulasi maka dapat ditunjukkan bahwa gelombang berjalan yang diakibatkan oleh suatu gangguan bisa digunakan untuk menentukan lokasi dari gangguan tersebut. Hasil tugas akhir ini diharapkan mampu membuka wawasan mengenai pemanfaatan gelombang berjalan untuk menentukan lokasi gangguan yang lebih akurat.

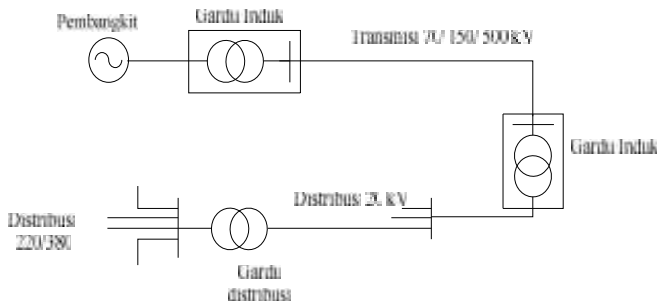
*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## BAB II

### SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN GELOMBANG BERJALAN

#### 2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen.



**Gambar 2.1** Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Pada gambar 2.1 dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui beberapa tahap, dari pusat pembangkit tenaga listrik, gardu induk, saluran transmisi, gardu induk, saluran distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik)[6].

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan (*step up*) menjadi 70kV, 150kV, atau 500 kV kemudian tegangan disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Dengan daya yang sama apabila tegangan di perbesar maka arus yang mengalir akan semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula, dalam hal ini kerugian daya sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2R$ ).

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan kembali menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan (*step down*) pada gardu induk distribusi, kemudian tenaga listrik di

salurkan oleh saluran distribusi primer, dari saluran distribusi primer kemudian tegangan diturunkan dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 220/380V, selanjutnya di salurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen [6].

### **2.1.1 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik[7]**

Secara umum saluran distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Menurut Nilai tegangannya

- Saluran distribusi primer

Saluan distribusi primer terletak pada sisi primer trafo distribusi, standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah sebesar 6 kV sampai 20 kV

- Saluran distribusi Sekunder

Saluran distribusi sekunder atau dikenal dengan jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) adalah jaringan tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen, standar tegangan untuk saluran distribusi sekunder adalah 220/380V. Dimana tegangan 220V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 380V merupakan tegangan fasa dengan fasa.

b. Menurut Bentuk tegangannya

- Saluran Distribusi DC (*Direct Current*) Merupakan sistem tenaga listrik yang penyaluran tenaga listriknya menggunakan sistem tegangan searah.
- Saluran Distribusi AC (*Alternating Current*) Merupakan sistem tenaga listrik yang penyaluran tenaga listriknya menggunakan sistem tegangan bolak balik.

Walaupun saat ini sistem DC lebih banyak keuntungannya dibanding dengan sistem AC, tetapi generator pembangkit untuk skala besar tetap lebih murah jika digunakan generator AC, maka dari itu akan lebih efisien apabila menggunakan saluran AC. Saluran DC akan lebih ekonomis dari saluran AC apabila jaraknya lebih dari 400 km, dan jika penyalurannya menggunakan kabel bawah tanah atau bawah laut akan lebih

ekonomis dibanding dengan AC apabila jaraknya lebih dari 40 km.

c. Menurut Jenis /Tipe konduktornya

- Saluran Udara : Saluran ini dipasang pada udara terbuka dengan bantuan penyangga (tiang) dan perlengkapannya, saluran udara terdiri dari :
  - Saluran Kawat Udara : Saluran dengan konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
  - Saluran Kabel Udara : Saluran dengan konduktornya terbungkus isolasi.
- Saluan Bawah Tanah : Kabelnya di pasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
- Saluran Bawah Laut : Dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*)

### 2.1.2 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi [6]

Beberapa bentuk konfigurasi dalam sistem jaringan distribusi antara lain :

#### 1. Jaringan Distribusi Radial

Pemodelan jaringannya paling sederhana dibanding jaringan lainnya, pemodelan sistem yang bercabang-cabang mengakibatkan arus pada tiap bagian tidak sama. Adapun keuntungan dan kerugian jaringan distribusi radial sebagai berikut :

- ❖ Keuntungan dari jaringan distribusi radial adalah :
  - a. Bentuknya yang sederhana dibanding jaringan lain
  - b. Pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah
  - c. Pengaturan tegangan lebih mudah
  - d. Biaya investasi yang lebih murah
- ❖ Kerugian dari jaringan distribusi radial adalah :
  - a. Kualitas pelayanan daya yang kurang baik, karena rugi tegangan dan rugi daya relatif besar.
  - b. Kontinuitas pelayanan daya kurang baik, karena hanya ada satu saluran utama dari titik sumber sampai titik konsumen (beban). Sehingga apabila

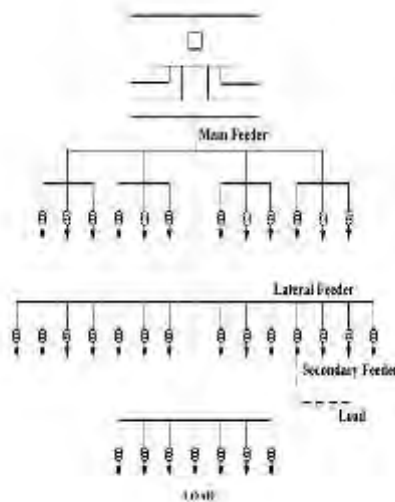


terjadi gangguan, maka saluran sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman secara total.

- c. Mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, karena jatuh tegangan terbesar terletak pada ujung saluran.

Macam-macam tipe jaringan distribusi radial adalah sebagai berikut :

**a. Jaringan Radial Tipe Pohon**



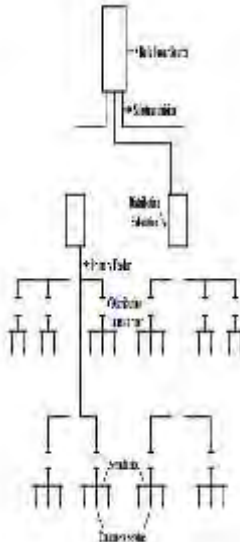
**Gambar 2.2** Jaringan Radial Tipe Pohon

Jaringan radial tipe pohon merupakan bentuk jaringan yang paling dasar. Pada gambar 2.2 dapat dilihat hanya terdapat satu saluran utama dan dibagi menjadi beberapa cabang (*lateral feeder*) dan lateral penyalang ini dibagi lagi dengan sublateral penyalang (anak cabang).

Arus pada masing-masing saluran berbeda-beda, pada penyalang utama arus yang mengalir adalah yang terbesar sehingga penampang pada penyalang utama konduktornya terbesar.

**b. Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah**

Jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah pada dasarnya hampir sama dengan jaringan radial dasar hanya saja pada jaringan ini ada penambahan *tie* dan *switch* pemisah.

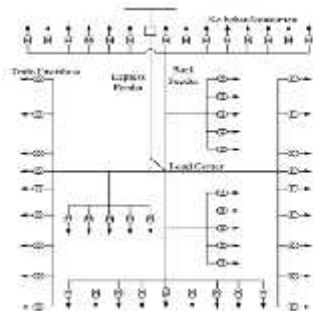


**Gambar 2.3** Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Pada gambar 2.3 penambahan *Tie* dan *switch* pemisah digunakan untuk mempercepat pemulihan pada gangguan sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem. Apabila ada penyulang yang terganggu maka dapat diminalkan dan penyulang yang sehat segera dapat dioperasikan kembali dengan cara melepas *switch* yang terhubung ke titik gangguan dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang di sekitarnya.

**c. Jaringan Radial dengan Pusat Beban**

Untuk jaringan bentuk ini daya dicatu menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut “*express feeder*” langsung ke pusat beban secara radial.

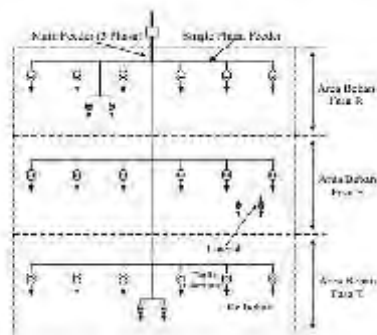


**Gambar 2.4** Jaringan Radial dengan Pusat Beban

Pada gambar 2.4 sistem hanya mempunyai satu penyulang utama, dari penyulang utama ke pusat titik beban menggunakan *express feeder*, dan dari titik pusat beban hingga ke beban dengan *back feeder*.

#### **d. Jaringan Radial dengan Pembagian *Phase Area***

Jaringan radial ini masing-masing fasanya melayani daerah beban yang berbeda. Adapun Kerugian dari jaringan radial ini yaitu dapat menimbulkan efek ketidakseimbangan apabila ditempatkan pada daerah yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Jaringan radial dengan tipe ini hanya cocok untuk daerah dengan beban yang stabil dan dapat diatur merata pada setiap fasanya.

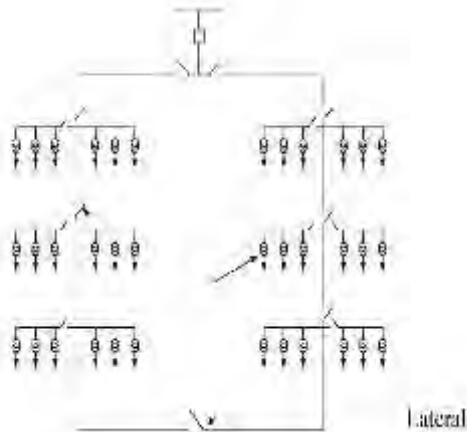


**Gambar 2.5** Jaringan Radial dengan Pembagian *Phase Area*

Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lainnya. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya.

## 2. Jaringan Distribusi Ring

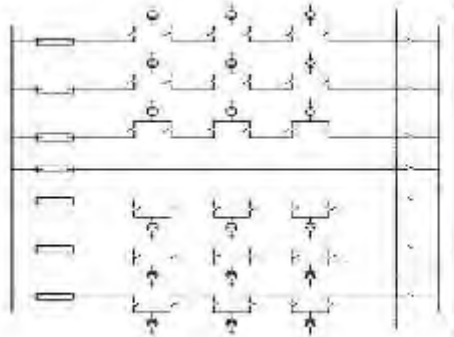
Pada jaringan distribusi ring, dapat dilihat pada gambar 2.6 rangkaiannya membentuk *loop*. Pada suatu titik beban terdapat dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini memiliki keandalan yang tinggi, namun membutuhkan biaya investasi yang tinggi karena membutuhkan lebih banyak *switch* atau pemutus beban.



**Gambar 2.6** Jaringan Distribusi Ring

## 3. Jaringan Distribusi Spindal

Pada gambar 2.7 dapat dilihat bahwa jaringan distribusi spindal terdiri dari beberapa penyulang yang dioperasikan berbeban, dihubungkan dengan penyulang berbeban lainnya dalam satu titik di ujung penyulang dengan gardu hubung. Dari gardu hubung ini terdapat satu penyulang menuju titik suplai yang dalam keadaan normal dioperasikan tanpa beban

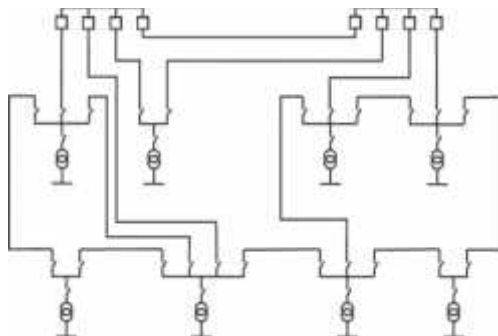


**Gambar 2.7** Jaringan Distribusi Spindal

Jaringan distribusi spindal cocok untuk meningkatkan keandalan dan kualitas pada sistem distribusi.

#### **4. Jaringan Distribusi Jaring-Jaring (NET)**

Jaringan ini merupakan gabungan antara jaringan radial dan ring. Beberapa jaringan radial dalam skala kecil saling dihubungkan satu sama lain membentuk hubungan *loop*. Pada gambar 2.8 dapat dilihat bahwa titik beban pada saluran memiliki banyak alternatif saluran/penyulang. Sehingga apabila salah satu penyulang terganggu maka dapat digantikan dengan penyulang lain.

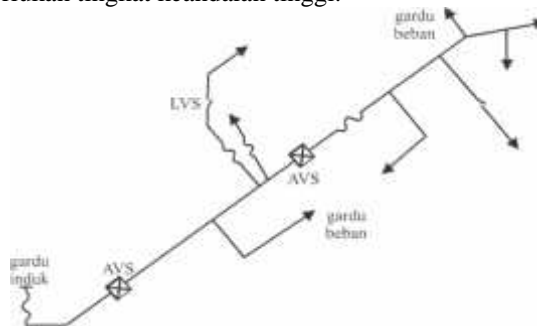


**Gambar 2.8** Jaringan Distribusi Jaring-Jaring

- ❖ Kelebihan jaringan distribusi jaring-jaring :
  - a. Kontinuitas penyaluran daya terjamin
  - b. Kualitas tegangan baik, rugi daya pada saluran relatif kecil
  - c. Fleksibel dalam mengikuti perkembangan beban.
- ❖ Kekurangan jaringan distribusi jaring-jaring :
  - a. Perencanaan harus dilakukan lebih teliti Karena biaya investasi besar
  - b. Memerlukan adanya tenaga terampil dalam pengoperasiannya

## 5. Jaringan radial Interkoneksi

Saluran ini terdiri dari satu saluran radial tunggal yang dilengkapi dengan saklar interkoneksi. Jaringan ini digunakan untuk beban-beban dengan kepadatan tinggi yang tidak begitu memerlukan tingkat keandalan tinggi.



**Gambar 2.9** Jaringan Radial Interkoneksi

Pada gambar 2.9 dapat dilihat terdapat saklar interkoneksi pada sistem, sehingga apabila terjadi pemadaman maka kerugian yang dialami tidak berdampak besar.

## 2.2 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik [3]

Gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik dapat bersifat permanen ataupun sementara, salah

satu gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Secara umum tanpa melihat jenis gangguannya, hubung singkat mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (2.1)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \quad (2.2)$$

$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \quad (2.3)$$

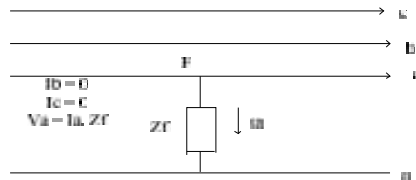
Dimana,  $V_f$  = adalah tegangan gangguan pada keadaan normal  
 $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  = Impedansi urutan positif, urutan negative, urutan nol.

Dan fasa a adalah sebagai referensi.

### 2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Pada sistem tiga fasa terdapat tiga jenis gangguan satu fasa ketanah yaitu [9]:

- Gangguan fasa A ke tanah
- Gangguan fasa B ke tanah
- Gangguan fasa C ke tanah



**Gambar 2.10** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Persamaan keadaan pada gangguan hubung singkat :

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$V_a = Z_f I_a$$

Arus gangguan hubung singkatnya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

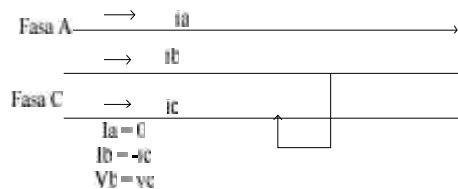
$$I_f = \frac{E_{\text{phasa } a}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.4)$$

Pada gambar 2.10 adalah contoh gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan ini terjadi karena adanya hubung singkat antara penghantar fasa dan tanah. Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan permanen di titik gangguan. Jika terjadi arus satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil dari pada arus hubung singkat tiga fasa.

### 2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa juga merupakan gangguan asimetris. Pada sistem tiga fasa terdapat tiga jenis gangguan hubung singkat dua fasa yaitu [9]:

- Gangguan fasa B ke fasa C
- Gangguan fasa C ke fasa A
- Gangguan fasa A ke fasa B



**Gambar 2.11** Gangguan Hubung Singkat antar Fasa

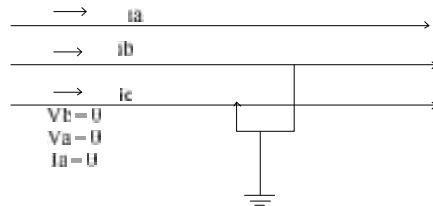
Pada gambar 2.11 adanya gangguan hubung singkat antar fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

### 2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Sama seperti gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada sistem tiga fasa terdapat tiga jenis gangguan hubung singkat dua fasa yaitu [9]:

- Gangguan fasa B dan C ke tanah
- Gangguan fasa C dan A ke tanah
- Gangguan fasa A dan B ke tanah



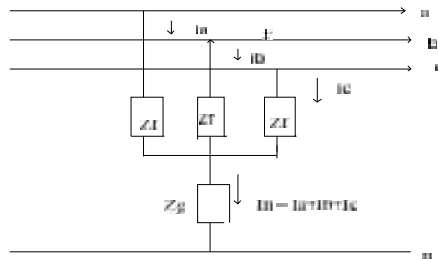


**Gambar 2.12** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah yang dijelaskan pada gambar 2.12 umumnya terjadi pada saluran transmisi, hubung singkat ini terjadi apabila dua kawat pada sistem terhubung dengan tanah atau dengan netral.

#### 2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa [9]

Gangguan hubung singkat tiga fasa pada umumnya termasuk gangguan yang seimbang.



**Gambar 2.13** Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada keadaan gangguan hubung singkat tiga fasa seperti pada gambar 2.13 dapat diambil persamaan sebagai berikut :

$$V_a - V_b = 0$$

$$V_a - V_c = 0$$

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

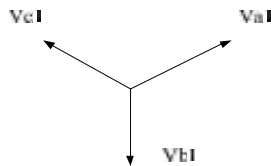
Hubung singkat pada yang terlihat pada gambar 2.13 terjadi apabila ketiga fasa pada sistem terhubung singkat pada tanah atau fasa ke fasa.

## 2.3 KOMPONEN-KOMPONEN SIMETRIS [8]

Secara umum rangkaian urutan komponen simetris di bagi atas tiga urutan, yaitu rangkaian urutan positif, rangkaian urutan negatif, dan rangkaian urutan nol.

### a. Rangkaian Urutan Positif (positive sequence components)[8]

Rangkaian urutan positif terdiri atas tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya, yaitu a, b, c

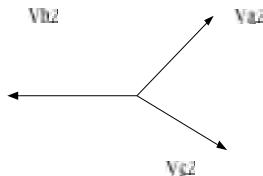


**Gambar 2.14** Gambar fasor rangkaian positif

Pada gambar 2.14 Rangkaian urutan positif elemen-elemennya terdiri dari impedansi urutan positif saja, rangkaian pengganti urutan positif tidak dipengaruhi oleh hubungan transformator (delta atau bintang) maupun pentanahan titik netralnya.

### b. Rangkaian Urutan Negatif (negative sequence components)[8]

Pada umumnya rangkaian urutan negatif elemen impedansi dan model rangkaiannya sama seperti pada model rangkaian urutan positif hanya saja pada rangkaian urutan negatif tidak mempunyai sumber tegangan.

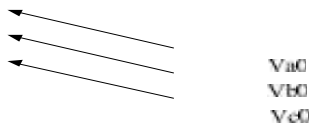


**Gambar 2.15** Diagram fasor urutan negatif

Rangkaian urutan negative pada gambar 2.15, terdiri atas tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya, yaitu  $a, c, b$

**c. Rangkaian Urutan Nol (zero sequence components)[8]**

Rangkaian urutan nol berbeda dengan rangkaian urutan positif dan rangkaian urutan negatif. Besarnya impedansi suatu rangkaian urutan nol dipengaruhi oleh hubungan belitan dari transformator dan pentanahan titik netral, baik titik netral transformator maupun titik netral generator.



**Gambar 2.16** Gambar fasor urutan nol

Pada gambar 2.16 dapat dilihat bahwa rangkaian urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, sejajar dengan pergeseran fasa  $0^\circ$  antara satu dengan lainnya. Pergeseran fasa komponen simetris dari fasa tegangan maupun arus adalah  $120^\circ$ . Untuk menunjukkan perputaran suatu fasor sebesar  $120^\circ$  dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam digunakan operator  $a$ , dimana operator “ $a$ ” merupakan bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya  $120^\circ$ . [9]

**Tabel 2.1** Operator “ $a$ ”

Power Function	or	Pola Form	Rectangular Form
$a$		$1\angle 120^\circ$	$-0.5+j0.866$
$a^2$		$1\angle 240^\circ=1\angle -120^\circ$	$-0.5-j0.866$
$a^3$		$1\angle 360^\circ=1\angle 0^\circ$	$1.0+j0.0$
$a^4$		$1\angle 120^\circ$	$-0.5+j0.866$

$1+a=-a^2$	$1<60^\circ$	$0.5+j0.866$
$1-a$	$3<-30$	$1.5-j0.866$
$1-a^2=-a$	$1<-60$	$0.5-j0.866$
$1-a^2$	$3<30$	$1.5+j0.866$
$a-1$	$3<150$	$-1.5+j0.866$
$a+a^2$	$1<180$	$-1.0+j0.0$
$a-a^2$	$3<90$	$0.0+j1.732$
$a^2-a$	$3<-90$	$0.0-j1.372$
$a^2$	$3<-150$	$-1.5-j0.866$
$1+a+a^2$	$0<0$	$0.0+j0.0$

Komponen-komponen fasor aslinya dapat dinyatakan sebagai berikut[8] :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.5)$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \quad (2.6)$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \quad (2.7)$$

Dengan memasukkan operator  $a$  pada persamaan di atas, maka di dapat :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.8)$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \quad (2.9)$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \quad (2.10)$$

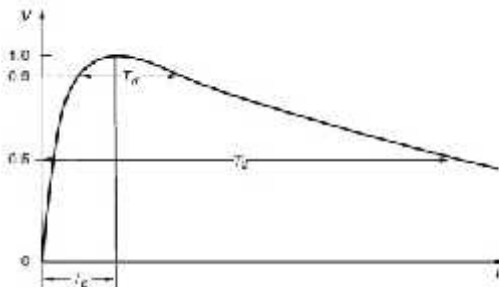
Dalam bentuk matrik :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

## 2.4 Teori Gelombang Berjalan[10]

Gelombang berjalan merupakan suatu peristiwa transien dimana merupakan suatu fungsi nonperiodik dari waktu dan memiliki durasi yang pendek. Gelombang berjalan biasanya

berupa surja tegangan atau surja arus. Pada surja tegangan bisa dilihat dengan adanya perubahan mendadak pada tegangan, dimana kecepatannya tergantung pada medium dimana surja tersebut berjalan. Pada gambar 2.17 dapat dilihat kurva tegangan impuls, Surja arus terjadi karena adanya peristiwa charging dan discharging arus kapasitif yang diakibatkan perubahan tegangan di sepanjang kapasitansi shunt dari sistem. Surja tegangan dapat diakibatkan oleh : sambaran petir, switching, atau gangguan[10].



**Gambar 2.17** Bentuk gelombang impuls tegangan

Metode gelombang berjalan dapat menganalisa sinyal frekuensi tinggi pada tegangan dan arus pada saluran distribusi. Konduktor mempunyai resistansi dan induktansi yang tersebar secara merata sepanjang saluran. Metode gelombang berjalan untuk menentukan lokasi gangguan sangat cocok, karena dengan menggunakan metode gelombang berjalan, komponen frekuensi tinggi dapat diambil dari satu titik perhitungan, dan analisis dari sinyal yang diambil dapat dilakukan dengan membandingkan jarak relatif puncak saat terjadi gangguan dengan sinyal gelombang pada saat normal. Variasi waktu dari gelombang berjalan sepanjang saluran dapat diteliti dengan menghitung profil gelombang berjalan dengan tahapan waktu diskrit.

Gangguan yang terjadi pada saluran akan menghasilkan gelombang arus dan tegangan. Arus dan tegangan akan berjalan sepanjang saluran sampai bertemu pada titik ketidaksinambungan dari saluran seperti titik gangguan. Pada titik ini, gelombang arus dan tegangan akan terjadi refleksi dan

refraksi. Hal ini akan menghasilkan gelombang tambahan yang akan menyebar sepanjang saluran.

Tegangan dan arus pada titik  $x$  harus memenuhi persamaan diferensial berikut :

$$\frac{dv(x,t)}{dx} = -L \frac{di(x,t)}{dt} \quad (2.12)$$

$$\frac{di(x,t)}{dx} = -C \frac{dv(x,t)}{dt} \quad (2.13)$$

Dengan  $L$  dan  $C$  adalah induktansi dan kapasitansi dari saluran per meter dan  $v(x,t)$  dan  $i(x,t)$  adalah tegangan dan arus yang berubah pada lokasi  $x$  pada waktu  $t$  karena gelombang berjalan. Solusi umum untuk persamaan ini adalah

$$v(x,t) = f_1\left(t - \frac{x}{v}\right) + f_2\left(t + \frac{x}{v}\right) \quad (2.14)$$

$$i(x,t) = \frac{1}{Z_0} f_1\left(t - \frac{x}{v}\right) - \frac{1}{Z_0} f_2\left(t + \frac{x}{v}\right) \quad (2.15)$$

Dengan  $v$  adalah kecepatan propagasi gelombang dan  $Z_0$  adalah impedansi karakteristik saluran  $Z = LC$ , Fungsi  $f_1$  dan  $f_2$  adalah menampilkan dua gelombang yang berjalan pada arah yang berlawanan.  $f_1$  adalah gelombang yang berjalan pada sisi positif dari  $x$  (arah maju), sedangkan  $f_2$  adalah gelombang yang berjalan ke arah negatif dari  $x$  (gelombang mundur).

Tegangan dan arus maju gelombang berjalan dapat secara lengkap atau sebagian dipantulkan ketika gelombang mencapai titik ketidaksinambungan. Itu mungkin terjadi karena open atau short pada sirkuit terminal. Pada keadaan ketidaksinambungan, sebagian dari *travelling wave* akan dipantulkan kembali sepanjang saluran dan sebagian akan ditransmisikan sampai di beban. Besarnya sinyal yang dipantulkan atau diteruskan tergantung dari besarnya impedansi pada ketidaksinambungan gelombang tersebut. Gelombang akan terus dipantulkan dan ditransmisikan sampai mati karena redaman.

#### 2.4.1 Pantulan Pada Gelombang Berjalan

Asumsikan  $v_f$ ,  $i_f$ ,  $v_b$  dan  $i_b$  adalah gelombang tegangan dan arus yang sesaat, begitu pula pada titik ujung (pada akhir dari kawat). Sehingga tegangan dan arus sesaat pada titik ujung dapat di asumsikan :

$$v = v_f + v_b \quad (2.16)$$

$$i = i_f + i_b \quad (2.17)$$

$$i = \frac{v_f}{Z_c} - \frac{v_b}{Z_c} \quad (2.18)$$

$$iZ_c = v_f - v_b \quad (2.19)$$

$$v + iZ_c = 2v_f \quad (2.20)$$

$$v_f = \frac{1}{2}(v + iZ_c) \quad (2.21)$$

$$v_b = v_f - iZ_c \quad (2.22)$$

#### 2.4.2 Titik peralihan pada dua kawat

Dapat dilihat pada gambar 2.18 adanya peralihan dua kawat pada sistem. Asumsikan  $Z_{c1} < Z_{c2}$  dimana  $Z_{c1}$  dan  $Z_{c2}$  adalah impedansi karakteristik dari kawat pertama dan kedua. Jika surja tegangan dalam bentuk fungsi step dan amplitudo  $v_f$  mendekati titik peralihan sepanjang kawat udara, gelombang arus akan memiliki bentuk yang sama dengan amplitudo.

$$i_f = \frac{v_f}{Z_{c1}} \quad (2.23)$$

Sehingga setelah melewati titik peralihan

$$i_b = \frac{v_b}{Z_{c1}} \quad (2.24)$$

$$i = \frac{v}{Z_{c1}} \quad (2.25)$$

Karena gelombang yang diteruskan = gelombang maju + gelombang mundur, maka

$$v_f + v_b = v \quad (2.26)$$

$$i_f + i_b = i \quad (2.27)$$

$$\frac{v_f}{Z_{c1}} - \frac{v_b}{Z_{c1}} = \frac{v}{Z_{c1}} \quad (2.28)$$

$$2v_f = \left[1 + \frac{Z_{c1}}{Z_{c2}}\right] v \quad (2.29)$$

Sehingga tegangan dan arus yang diteruskan adalah :

$$v = \frac{2Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} v_f \quad (2.30)$$

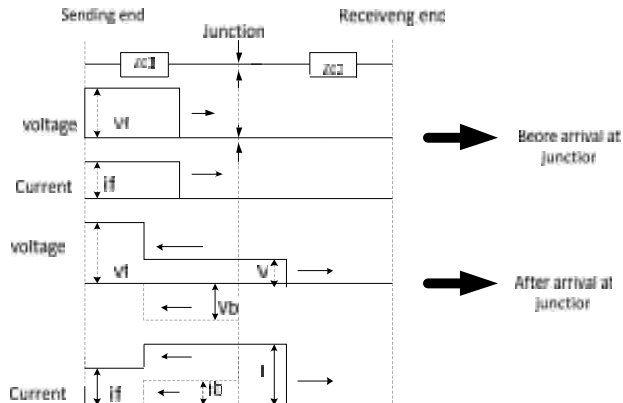
dan

$$i = \frac{2Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} i_f \quad (2.31)$$

sehingga gelombang tegangan dan arus yang dipantulkan adalah:

$$v_b = \frac{Z_{c2} - Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} v_f \quad (2.32)$$

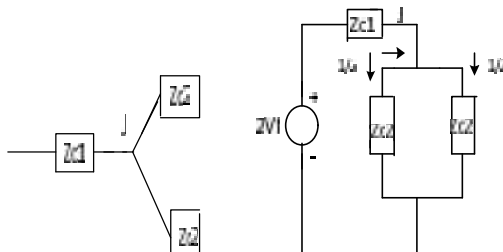
$$i_b = \frac{Z_{c1} - Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} i_f \quad (2.33)$$



**Gambar 2.18** Gelombang tegangan dan arus pada titik peralihan

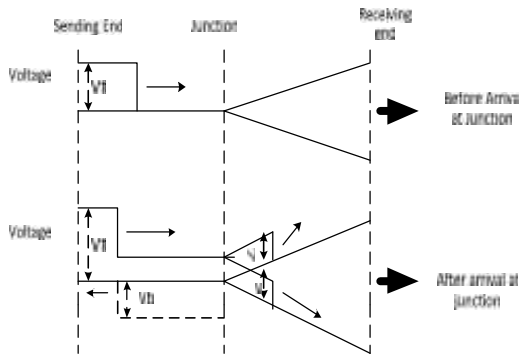
### 2.4.3 Titik Peralihan Pada Beberapa Kawat

Pada titik peralihan yang terlihat pada gambar 2.20 adanya surja impedansi  $Z_{c2}$  yang sama dan terhubung paralel. Sehingga persamaan  $Z_{c2}$  diubah dengan  $\frac{1}{2}Z_{c2}$ .



**Gambar 2.19** Sistem dan Rangkaian Ekuivalen





**Gambar 2.20** Gelombang Tegangan dipantulkan pada titik peralihan tiga kawat

Pada tegangan dan arus dapat dinyatakan :

$$V = \frac{2Z_1}{Z_{c1} + Z_{c2}} \times \frac{V_{ci}}{2} \quad (2.34)$$

$$i = \frac{2Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \times i_i \quad (2.35)$$

dimana,

$$i_i = \frac{2V_i}{Z_{c1} + Z_{c2}} \quad (2.36)$$

#### 2.4.4 Kecepatan Merambat[10]

Kecepatan merambat pada semua gangguan elektromagnetik di udara sama dengan kecepatan cahaya, yaitu sekitar 300.000 km/s. Kecepatan merambat dari surja pada kawat adalah :

$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ m/s} \quad (2.37)$$

Sedangkan induktansi dari kawat satu fasa adalah :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2h}{r} \text{ H/m} \quad (2.38)$$

Dan kapasitansinya adalah :

$$C = \frac{1}{2\pi \times 10^9 \ln \frac{2h}{r}} \text{ F/m} \quad (2.39)$$

Dimana;

$h$ = Tinggi dari konduktor diatas tanah (m)

$r$ = Jari-jari dari konduktor (m)

Jika kecepatan surja pada kawat tiga fasa diperhitungkan, maka hasilnya akan sama dengan kecepatan pada kawat satu fasa.

#### 2.4.5 Impedansi Surja

Untuk hantaran udara besarnya adalah :

$$z = \frac{E}{I} = \frac{1}{Cv} = vL \quad (2.40)$$

$$z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ Ohm} \quad (2.41)$$

Sedangkan untuk kabel besarnya adalah :

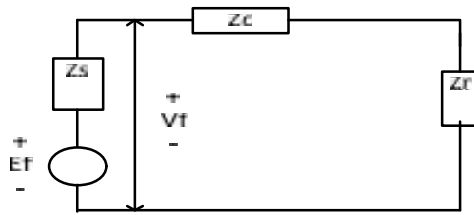
$$z = \frac{60}{\sqrt{K}} \ln \frac{4h}{r} \text{ Ohm} \quad (2.42)$$

#### 2.4.6 Diagram tangga [10]

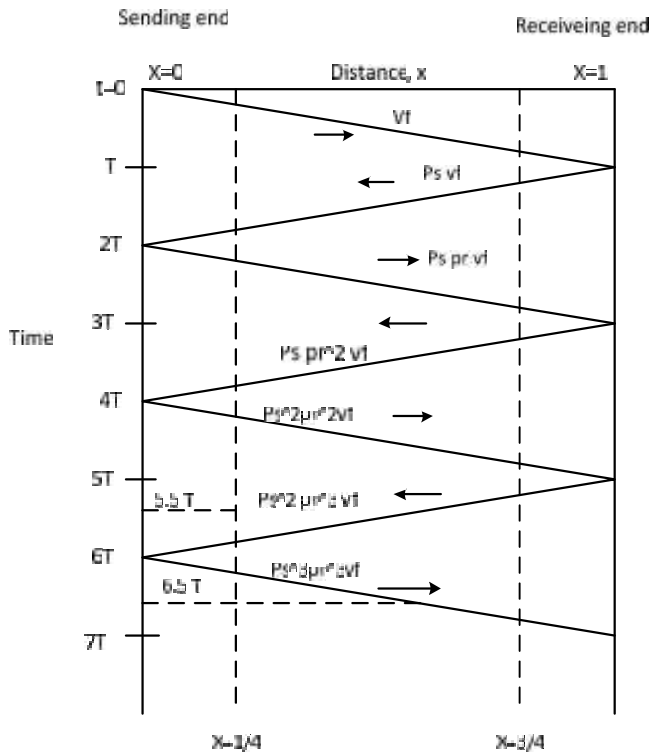
Sering sangat sulit untuk mengikuti jejak dari begitu banyak gelombang yang disebabkan oleh pantulan berulang. Oleh Karena itu, untuk dapat mengikuti jejak gelombang pada setiap waktu diperlukan diagram tangga (diagram *lattice*).

Diagram tangga yang dikembangkan oleh Bawley, bertujuan untuk dapat mengikuti jejak dari gelombang tegangan atau arus ketika di pantulkan.

Pada gambar 2.21 dapat bahwa  $Z_s$  dan  $Z_r$  merepresentasikan sumber dalam impedansi dan impedansi yang terhubung pada kawat. Pada diagram *lattice* jarak pada sisi kirim dan sisi terima dipresentasikan dengan sisi horizontal berdasarkan skala jarak, dan waktu direpresentasikan sebagai dua garis vertikal dengan skala waktu.  $T$  adalah waktu untuk gelombang berjalan di sepanjang kawat. Garis diagonal zig-zag, mempresentasikan gelombang ketika berjalan maju dan mundur antara titik akhir.



(a)



(b)

**Gambar 2.21** (a) Rangkaian Ekuivalen, (b) Diagram tangga

Selisih dari garis zig-zag memberikan waktu berdasarkan jarak yang telah ditempuh. Pantulan ditentukan dengan mengalikan gelombang yang terjadi dengan koefisien pantulan yang ada. Tegangan pada setiap titik pada waktu dan jarak bisa diketahui dengan menambahkan semua persamaan yang berada pada titik tersebut. Koefisien dari pantulan titik kirim adalah :

$$p_s = \frac{Z_T - Z_C}{Z_T + Z_C} \quad (2.39)$$

Koefisien pantulan titik terima adalah :

$$p_r = \frac{Z_T - Z_C}{Z_T + Z_C} \quad (2.40)$$

untuk arus koefisien pantulnya selalu negatif dari koefisien tegangan. Hal tersebut harus di perhatikan lebih cermat.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Unjuk Kerja Sistem**

Banyak metode yang dapat digunakan dalam mendeteksi gangguan pada suatu sistem, salah satunya adalah dengan menggunakan metode gelombang berjalan. Pada Tugas Akhir ini Pendeteksian lokasi gangguan pada Jaringan Distribusi Listrik 20 kV dengan percabangan menggunakan metode Gelombang Berjalan. Metode ini dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan untuk sistem proteksi yaitu keandalan dan kecepatan. Lokasi gangguan bisa didapatkan dengan membandingkan antara waktu datang dari gelombang berjalan pada saat maju dengan waktu kembali dari gelombang berjalan mundur atau pantulnya [4]. Pada percobaan ini disimulasikan pada sepuluh saluran dengan adanya percabangan, kinerja dari simulasi ini yaitu, menentukan nilai  $S_2$  (Gelombang maju), Menentukan nilai  $S_1$  (Gelombang Pantul), Jarak gangguan dari sumber, Error margin

### **3.2 Gelombang Berjalan Pada Kawat Tiga Fasa[10]**

Meskipun persamaan dasar dari gelombang berjalan tetap tidak berubah dalam penggunaan sistem tiga fasa, keberadaan mutual coupling antar fasa dari sistem tetap ada dan harus diikuti sertakan dalam perhitungan. Pada penggunaan konduktor udara satu fasa, bisa dilihat bahwa keberadaan rugi faktor pengurang mempengaruhi gelombang berjalan pada kawat. Sedangkan pada penggunaan konduktor udara tiga fasa lebih kompleks dikarenakan mutual coupling terdapat pada antar fasa, yang menyebabkan perubahan pada *second orde* dari tegangan pada tiap fasa menjadi fungsi dari tegangan pada konduktor yang lain. Sehingga rugi-rugi tidak dapat dipresentasikan hanya dengan attenuasi dan menggunakan tegangan pada tiap fasa. Solusi dari permasalahan ini bisa ditemukan dengan penggunaan transformasi matriks untuk mengubah persamaan dari matriks. Sehingga kawat tiga fasa bisa dipresentasikan dengan sejumlah mode dari propagasi sehingga tegangan yang berjalan tidak tercoupling dan berjalan sendiri-sendiri.

Untuk kawat tiga fasa seimbang, terdapat beberapa transformasi matriks sederhana yang dapat menghilangkan mutual coupling dari

persamaan kawat. Salah satu contoh dari matriks tersebut adalah transformasi clark, yang menghasilkan komponen  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $0$ . Tegangan dapat ditransformasikan menjadi domain modal dengan transformasi modal, yaitu :

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{3} & -2/\sqrt{6} & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Atau

$$[V_{abc}] = [T_c] [V_{\alpha\beta 0}] \quad (3.2)$$

Karena matriks  $[T_c]$  merupakan matriks unitary, maka matriks inversnyapun bisa di dapat dengan mudah

$$[T_c]^{-1} = [T_c]^T \quad (3.3)$$

Dengan cara yang sama dapat diketahui bahwa

$$[i_{abc}] = [T_c] [i_{\alpha\beta 0}] \quad (3.4)$$

Persamaan 3.1 dapat diekspresikan dengan menggunakan transformasi laplace

$$\begin{bmatrix} V_\alpha(s) \\ V_\beta(s) \\ V_0(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{3} & -2/\sqrt{6} & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a(s) \\ V_b(s) \\ V_c(s) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Atau

$$[V_{abc}(s)] = [T_c] [V_{\alpha\beta 0}(s)] \quad (3.6)$$

Persamaan 3.4 dapat di ekspresikan sebagai :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha(s) \\ i_\beta(s) \\ i_0(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{3} & -2/\sqrt{6} & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(s) \\ i_b(s) \\ i_c(s) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Atau

$$[i_{abc}(s)] = [T_c] [i_{\alpha\beta 0}(s)] \quad (3.8)$$

Sehingga,

$$[V_{\alpha\beta 0}(s)] = [Z_{\alpha\beta 0}(s)] [i_{\alpha\beta 0}(s)] \quad (3.9)$$

Dimana matriks  $[Z_{\alpha\beta 0}(s)]$  bisa diperoleh dengan transformasi yang sama, maka

$$[Z_{\alpha\beta 0}(s)] = [T_c]^{-1} [Z_{abc}] [T_c] \quad (3.10)$$

Atau

$$[Z_{abc}(s)] = [T_c]^t [Z_{abc}] [T_c] \quad (3.11)$$

Jika kawat tiga fasa adalah seimbang maka persamaannya menjadi

$$\begin{bmatrix} Z_o(s) \\ Z_a(s) \\ Z_b(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_o & 0 & 0 \\ 0 & Z_a & 0 \\ 0 & 0 & Z_b \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Dimana

$$Z_o = Z_s + 2Z_m \quad (3.13)$$

$$Z_a = Z_b = Z_s - Z_m \quad (3.14)$$

$$Z_s = R_s + sL_s \quad (3.15)$$

$$Z_m = R_m + sL_m \quad (3.16)$$

$$R_m = 2R \quad (3.17)$$

$$R_m = R \quad ; \quad s = j\omega \quad (3.18)$$

### 3.3 Simulasi Pemodelan Sistem

Simulasi pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan matlab simulink, pada simulink dapat diatur saluran mana yang akan disimulasikan mengalami gangguan. Begitu juga dengan Jenis gangguan, titik gangguan dan waktu transisi(waktu gangguan) dapat diatur pada *Block parameter 3 phase fault*, Kemudian setelah ditentukan parameter-parameter tersebut dapat dilakukan perhitungan pada gelombang output hasil dari korelasi gelombang berjalan.

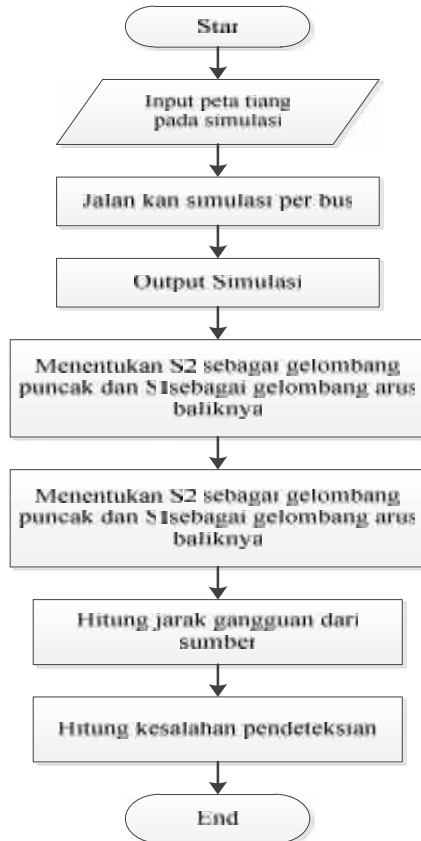
### 3.4 Metode Pengerjaan Deteksi Lokasi Gangguan

Perhitungan lokasi gangguan dengan menggunakan gelombang berjalan dilakukan dengan menganalisa jarak antara gelombang yang mempunyai titik puncak paling maksimal dibanding dengan gelombang lain pada saat terjadi gangguan dengan sinyal gelombang refleksi arus mundurnya, yaitu gelombang yang mempunyai titik ekstrim turun setelah gelombang puncaknya.

Setelah mengetahui nilai waktu gelombang datang dan nilai waktu saat gelombang mundur, maka dapat ditentukan jarak pada titik gangguan dengan persamaan gelombang berjalan. Dengan



menghitung respon balik waktu saat kembali ke sumber, maka jarak titik lokasi gangguan dapat diketahui[4].



**Gambar 3.2** Diagram alir perhitungan lokasi gangguan

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

#### **4.1 SIMULASI**

Pada Tugas Akhir ini, Deteksi lokasi gangguan di simulasikan dengan menggunakan simulink pada matlab dengan parameter-parameter sebagai berikut :

**A. Sumber Tegangan**

- Tegangan fasa-fasa = 20 KV
- Frekuensi = 50 Hz
- Phase Angle of phase = 90
- X/R ratio = 8

**B. Jaringan Distribusi**

- Jumlah fasa = 3
- $R1 = 0.494$  ,  $R0 = 1,56$
- $L1 = 0.1716e-3$  ,  $L0 = 4.2e-3$
- $C1 = 12.74e-9$  ,  $C0 = 7.751e-9$
- Panjang Line 1 = 1.149, Line 2 = 0.849 , Line 3 = 0.449 , Line 4 = 0.349 , Line 5 = 0.949 , Line 6 = 0.249 , Line 7 = 0.549 , Line 8 = 0.299 , Line 9 = 0.799 , Line 10 = 0.849

**C. Trafo**

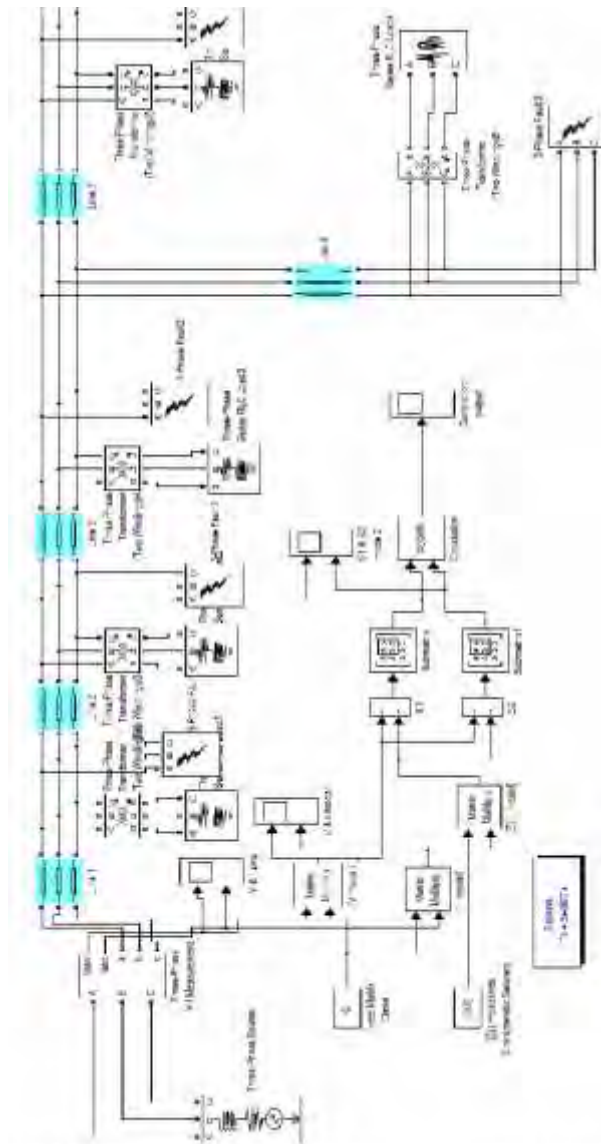
- Nominal power = 1600e3
- Frekuensi = 50 Hz
- Winding 1 = 20e3 V,  $R1 = 0.0675$  pu,  $L1 = 0.47925$ pu
- Winding 2 = 380V,  $R1 = 0.0675$  pu,  $L1 = 0.47925$ pu

**D. Waktu diskrit = 0.009 ms**

**E. Panjang total Jaringan Distribusi = 6.49 Km**

#### **4.2 PEMODELAN SIMULASI**

Pendeteksian lokasi gangguan dengan menggunakan gelombang berjalan yang disimulasikan dengan matlab simulink dapat dimodelkan sebagai berikut :



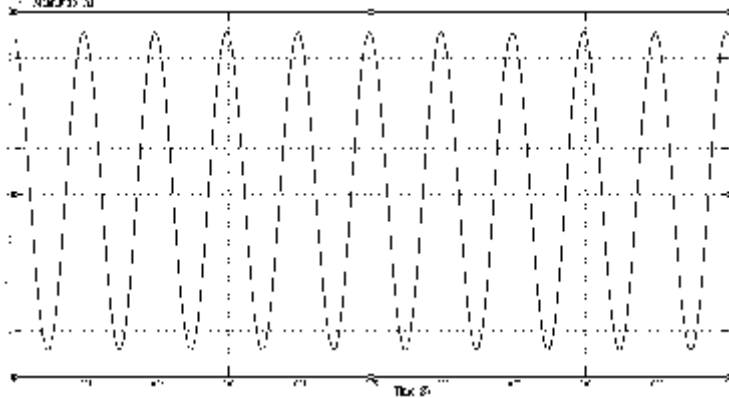
**Gambar 4.1** Simulasi gelombang berjalan menggunakan simulink

Pada pemodelan ini disimulasikan pada 10 saluran, dengan jarak yang berbeda-beda. Simulasi ini dilakukan pada jaringan distribusi yang bercabang. Pada masing-masing saluran akan diberikan satu gangguan dengan tipe gangguan tertentu yang dapat diatur pada *Block Parameter 3 Phase Fault*. Saat terjadi gangguan maka akan didapatkan tegangan dan arus tiap fasa yang mengalami gangguan, arus dan tegangan tersebut dapat diukur pada *Block Parameter 3 Phase V-I Measurement*. Perambatan sinyal arus baliknya dapat dilihat pada *Block Parameter Corellation Output*.

### 4.3 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada simulasi ini yang akan dicari adalah gelombang maju (S2) dan gelombang mundur (S1) dari gelombang berjalan. Gelombang maju didapatkan dari gelombang puncak pertama saat terjadi gangguan dan gelombang mundur (S1) adalah waktu korelasi gelombang sinyal arus baliknya.

Sebelum ada gangguan sistem dalam keadaan seimbang, diperoleh gelombang sinyal output dari korelasi sebagai berikut :

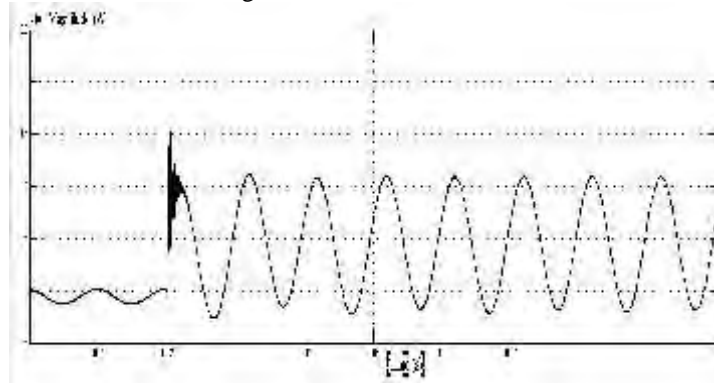


**Gambar 4.2** Sinyal output pada saat tidak ada gangguan.

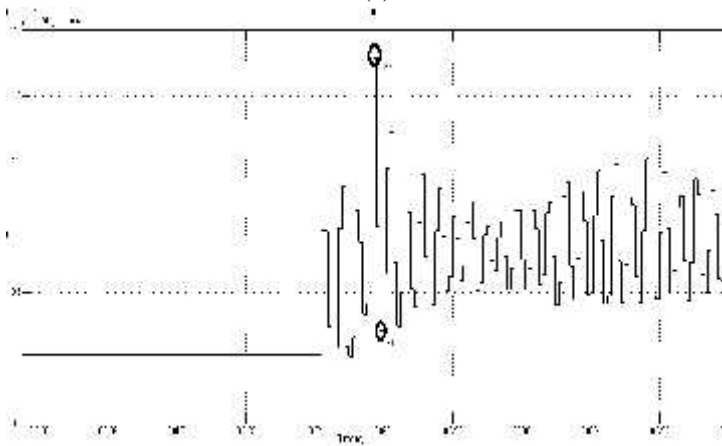
#### 4.3.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pada gangguan satu fasa ke tanah, jenis gangguan yang akan disimulasikan adalah fasa A *fault* dan *ground fault*, fasa B *fault* dan *ground fault*, fasa C *fault* dan *ground fault*. Jenis gangguan diatur pada *Block parameter 3 phase fault* dengan *Fault Resistance*

sebesar 0.000001 ohm dan waktu gangguan pada *transition time* 0.02 sampai 0.1 detik pada jarak 1.149 km. Di dapatkan gelombang dari hasil simulasi sebagai berikut :



(a)

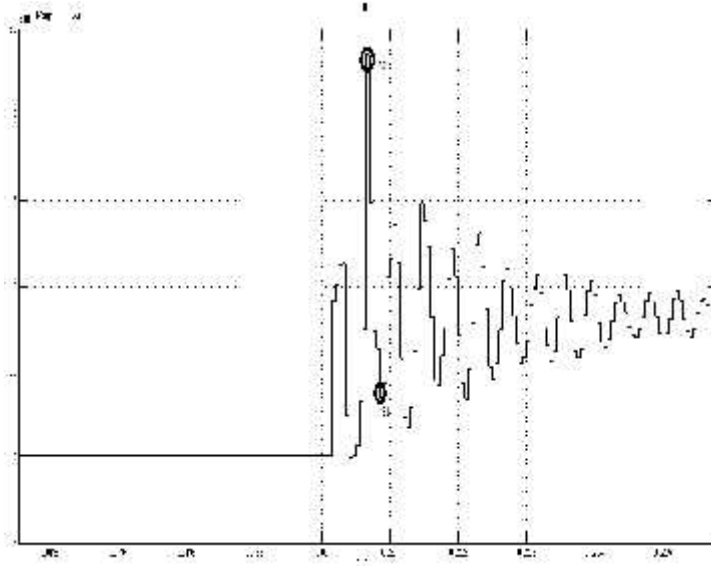


(b)

**Gambar 4.3** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 1.149

Dengan persamaan kecepatan cahaya  $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  m/s, maka di dapat kecepatan merambat surja sebesar 213.873 km/s. Dari hasil simulasi pada gambar 4.3 di peroleh waktu terdeteksinya gelombang maju (S2) pada  $t = 0.020099$ , dan waktu terdeteksinya gelombang

mundur (S1) adalah  $t = 0.0200875$ . Maka jarak gangguannya adalah  $d = v \cdot (s_1 - s_2) \cdot 1000 / 2 = 1.2297$  Km, jarak sesungguhnya adalah 1.149 sehingga selisih jarak saluran dengan jarak dari gangguannya adalah 0.0807 Sehingga *error* pendeteksiannya adalah  $= (1.2297 - 1.149) / 2 \cdot 100 = 1.2445\%$ .

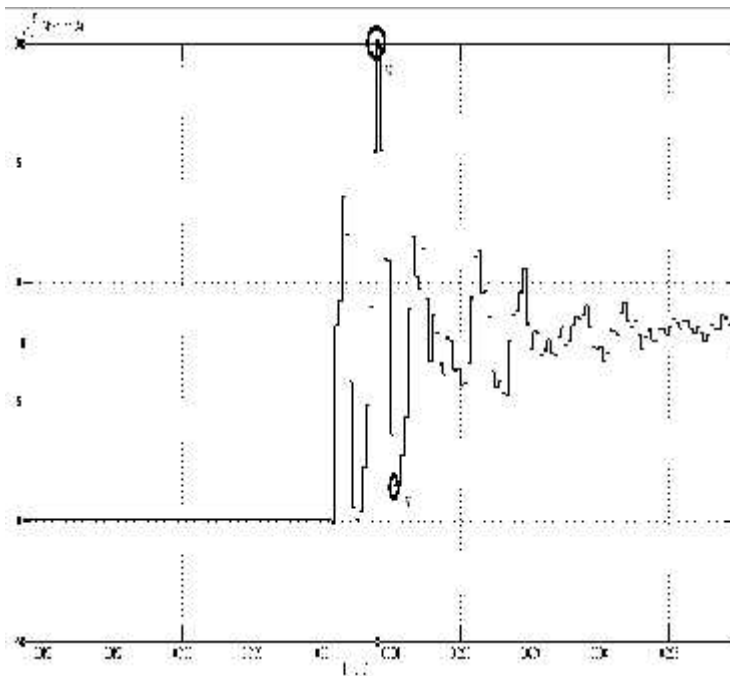


**Gambar 4.4** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 1.998 km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.4 yang di atur gangguan pada fasa A ke tanah dengan jarak 1.998 km di dapat waktu terdeteksinya gelombang maju (s2) yaitu  $t = 0.020104$ , gelombang arus baliknya (s1) adalah  $t = 0.0201235$ , dan kecepatan merambat surja dari gelombang berjalan adalah 213.873 km/s. Sehingga jarak dari gangguannya adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) \cdot 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0201235 - 0.020104) \cdot 1000}{2} = 2.0852 \text{ km}$$

Selisih antara jarak dari gangguan dengan jarak sesungguhnya adalah 0.08726175, maka *error* pendeteksiannya didapat sebesar 1.344 %

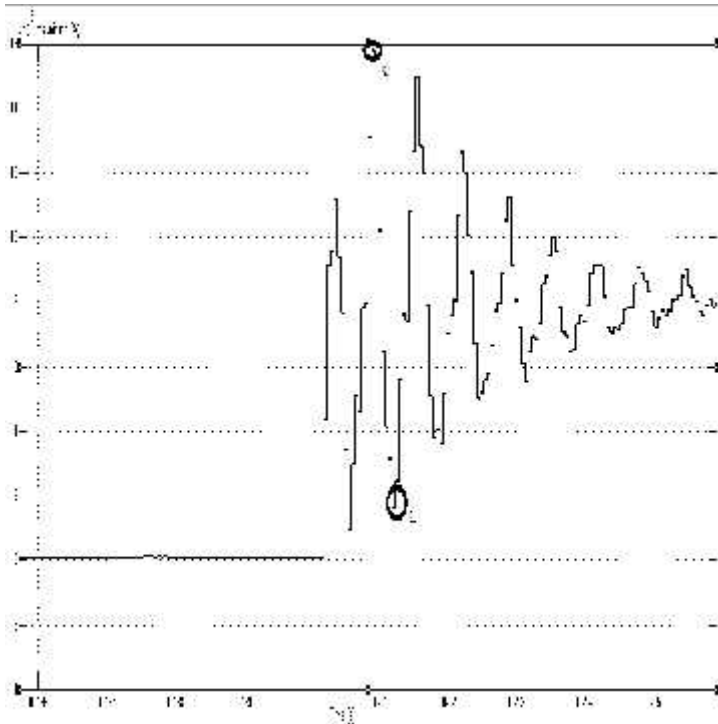


**Gambar 4.5** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 2.447km

Pada gelombang hasil simulasi yang terlihat pada gambar 4.5 gangguan satu fasa dengan jenis gangguan *phase A fault to ground fault* pada panjang 2.447 km dapat dilihat nilai dari gelombang majunya (s2) yaitu  $t = 0.020028$  dan gelombang arus baliknya (s1) adalah  $t = 0.020052$ , kecepatan merambat surja dari gelombang berjalan adalah sebesar 213.873 km/s. Jarak dari gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020052 - 0.020028) \times 1000}{2} = 2.5666 \text{ km}$$

sehingga di dapat selisih antara jarak sesungguhnya dengan jarak gangguan adalah 0.119476, dengan *error* perhitungan sebesar 1.84%



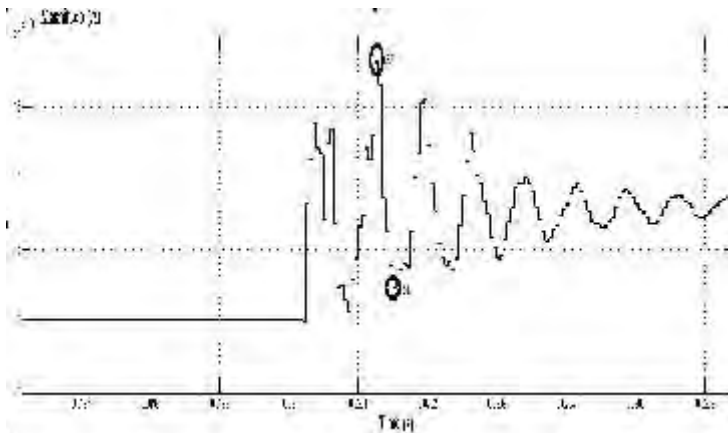
**Gambar 4.6** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 2.796km

Dari hasil simulasi yang di tunjukkan pada gambar 4.6, di dapat bahwa nilai waktu terdeteksinya gelombang maju (s1) adalah  $t = 0.020108$  dan nilai waktu gelombang arus baliknya adalah  $t = 0.0200875$ , dengan kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan adalah  $v = 213.873\text{km/s}$ . Sehingga jarak dari gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020108 - 0.0200875) 1000}{2} = 2.545088\text{km}$$

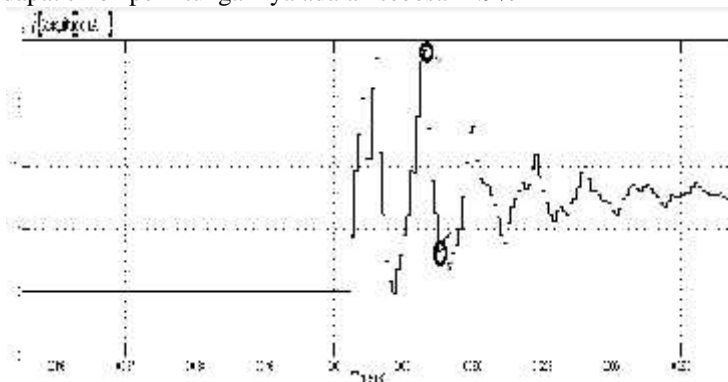
Selisih jarak sebenarnya dengan jarak gangguan adalah sebesar 0.2509113, presentase eror perhitungannya sebesar 3.866%.





**Gambar 4.7** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 3.749km

Dari simulasi gangguan satu fasa ketanah seperti yang terlihat pada gambar 4.7 dengan jenis gangguan *phase A fault to ground fault* dengan jarak 3,749 km di dapat nilai gelombang maju ( $s_2$ ) yaitu  $t = 0.0201085$  dan nilai gelombang arus baliknya yaitu  $t = 0.0201465$  dengan kecepatan merambat surja gelombang berjalan sebesar 213.873 km/s. Maka perhitungan jarak gangguannya adalah  $= v \cdot (s_1 - s_2) \cdot 1000 / 2 = 4.063587$  km. Selisih antara jarak sesungguhnya dengan jarak gangguan adalah 0.318587 sehingga di dapat *error* perhitungannya adalah sebesar 4.9%



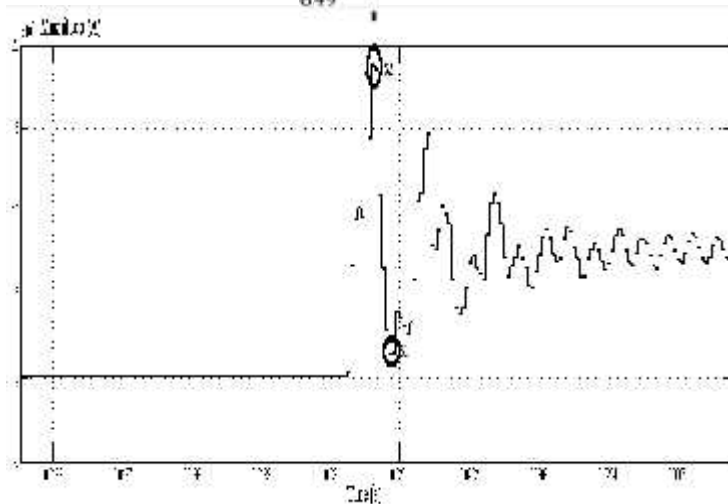
**Gambar 4.8** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 3.994 km

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.8, gelombang maju (s1) di dapat dari gelombang yang mempunyai puncak maksimal yaitu ts2 = 0.020135 dan gelombang mundur nya atau gelombang arus baliknya di dapat dari titik setelah titik puncak maksimal yaitu ts1 = 0.020175, jarak gangguan dari hasil perhitungan di dapat :

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213.873X(0.020175-0.020135)1000}{2} = 4.063587$$

sehingga dapat di ketahui selisih antara jarak gangguan dengan jarak saluran dari sumber adalah = 4.063587 – 3.994 = 0.28346. Maka kesalahan pendeteksiannya adalah

$$Error = \frac{0.28346}{6.49} \times 100 \% = 4.36 \%$$



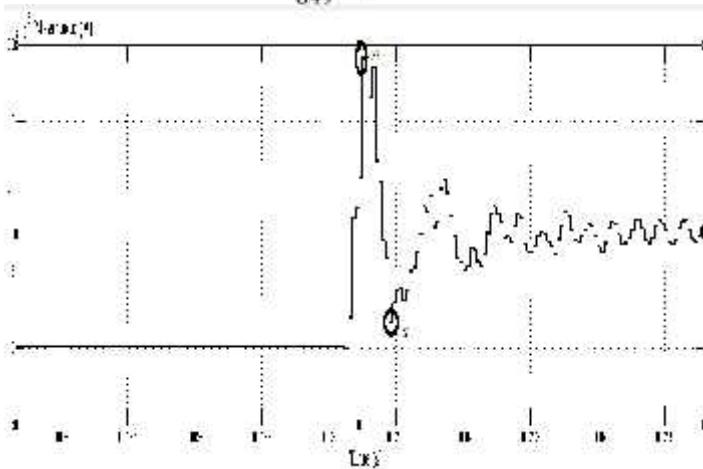
**Gambar 4.9** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 4.543 km

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.9 gelombang maju (S2) mempunyai magnitude yang paling besar, pada hasil simulasi diketahui waktu terdeteksinya gelombang S2 adalah ts2= 0.020054, dan waktu terdeteksinya gelombang balik nya adalah = 0.0200982. Jarak gangguan pada saluran ini dapat diketahui melalui persamaan

$$d = \frac{VX(S_1 - S_2)1000}{2} = \frac{213.873X(0.0200982 - 0.020054)1000}{2} = 4.7265933 \text{ km}$$

maka selisih antara jarak saluran dengan jarak gangguan adalah  $4.7265933 - 4.543 = 0.1835933 \text{ km}$  kesalahan pendeteksian pada panjang saluran 4.543 km adalah sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.1835933}{649} \times 100 \% = 2.83 \%$$



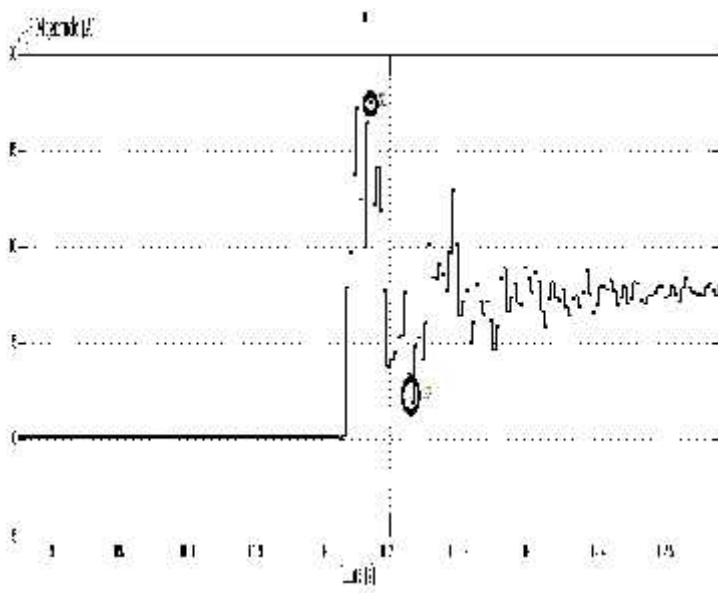
**Gambar 4.10** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 4.842 km

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa gelombang maju (S2) berada pada titik puncak maksimal di banding gelombang lainnya, dan gelombang baliknya dilihat dari titik ekstrim turun setelah gelombang puncak maksimalnya, sehingga di dapat  $ts_2 = 0.020064$  dan  $ts_1 = 0.020099$ . Dari hasil waktu terdeteksinya gelombang maju dan gelombang baliknya jarak gangguan pada saluran ini dapat di ketahui melalui persamaan:

$$d = \frac{VX(S_1 - S_2)1000}{2} = \frac{213.873X(0.020099 - 0.020064)1000}{2} = 3.742775 \text{ km}$$

Maka selisih antara jarak gangguan dengan jarak saluran dari sumber adalah :  $4.842 - 3.742775 = 1.099$  kesalahan pendeteksian pada panjang saluran 4.842 km adalah

$$\text{Error} = \frac{3.742775 - 4.842}{649} \times 100 \% = -16.94 \%$$



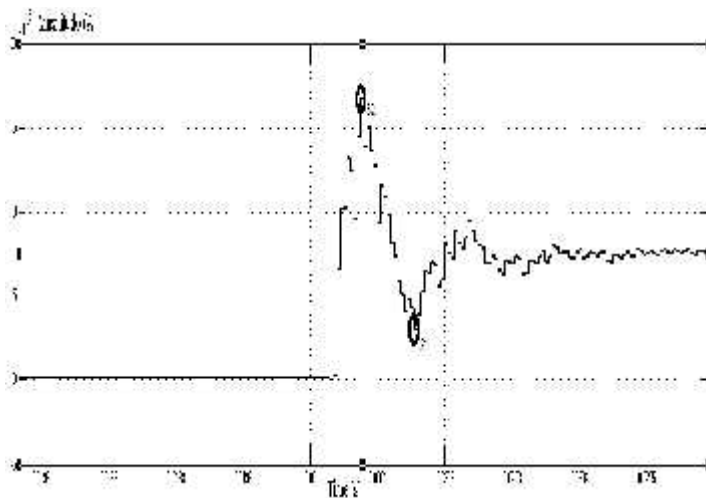
**Gambar 4.11** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 5.641 km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.1 didapat waktu gelombang maju (S1) yaitu pada saat  $t = 0.020079$  detik diambil pada puncak tertinggi dari semua gelombang, dan waktu gelombang mudurnya yaitu pada saat  $t = 0.0201365$  detik diambil dari titik ekstim turun setelah gelombang tertinggi. Setelah mengetahui waktu dari gelombang datang dan gelombang pantulnya, jarak pada titik gangguan dapat diketahui dari persamaan dibawah ini :

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213873X(0.0201365-0.020079)1000}{2} = 6.14884875\text{km}$$

Dengan panjang saluran dari GI 5.64 km maka adanya deviasi antara panjang saluran dari sumber dengan jarak titik gangguan adalah  $6.14884875 - 5.641 = 0.50784875\text{km}$ . Dengan memperoleh jarak gangguan sebesar 6.14884875 km pada panjang saluran 5.641 km maka dapat didapat kesalahan perhitungannya sebesar :

$$\frac{0.50784875}{5.641} \times 100 \% = 7.82\%$$



**Gambar 4.12** Gangguan satu fasa ke tanah pada jarak 6.49 km

Dari hasil simulasi yang dapat dilihat pada gambar 4.12 di dapat waktu gelombang maju ( $s_2$ ) pada saat  $t = 0.020092$  detik, dan gelombang mundurnya ( $s_1$ ) sebagai sinyal arus balik yaitu pada saat  $t = 0.020158$  detik. Dimana gelombang maju diambil saat puncak tertinggi dari gelombang lainnya, dan gelombang mundur atau gelombang pantulnya diambil pada titik ekstrim turunya setelah gelombang puncak maksimalnya. Jarak titik gangguan dari GI dapat ditentukan dengan persamaan:

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) \times 1000}{2} = \frac{212873 \times (0.020158 - 0.020092) \times 1000}{2} = 7.057809 \text{ km}$$

sehingga selisih antara panjang saluran dengan jarak titik gangguannya adalah  $7.057809 - 6.49 = 0.567809$  km. Kesalahan perhitungan pada panjang saluran 6,49 km adalah

$$\text{Error} = \frac{0.567809}{6.49} \times 100\% = 8.74 \%$$

Pada ujung saluran di dapat kesalahan pendeteksiannya sangat besar di banding saluran-saluran lainnya.

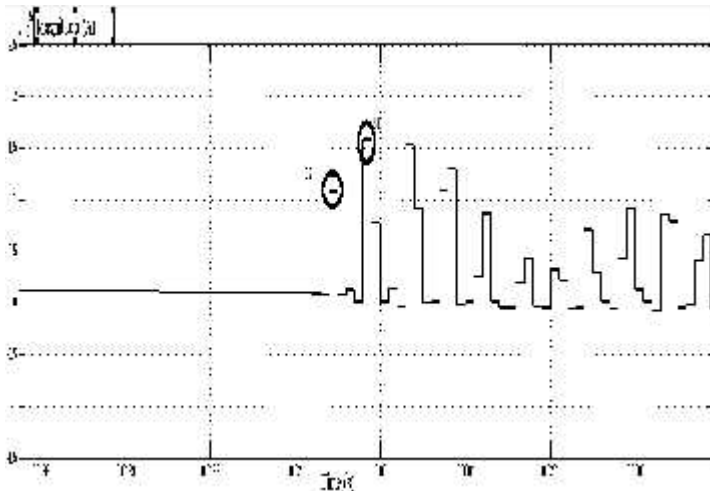
**Tabel 4.1** Gangguan satu fasa ketanah

Line	Jarak (km)	S1(detik)	S2(detik)	Jarak titik gangguan	Error
1	1.149	0.02009	0.020087	1.2297	1.24%
2	1.998	0.020123	0.020104	2.0852	1.34%
3	2.447	0.020052	0.020028	2.5664	1.84%
4	2.796	0.020108	0.020087	2.54508	-3.87%
5	3.745	0.020146	0.020108	4.06858	4.9%
6	3.994	0.020175	0.02013	4.27746	4.37%
7	4.543	0.020098	0.020054	4.72659	2.82%
8	4.842	0.020098	0.020064	3.742775	-16.94%
9	5.641	0.020136	0.020079	6.14884	7.82%
10	6.49	0.020158	0.020092	7.0578	8,75%

Pada gangguan satu fasa ke tanah ini disimulasikan dengan mengatur gangguan fasa A ke tanah, dari data yang ada dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak saluran dari sumber maka *error* nya pun akan semakin besar, dikarenakan semakin jauh dari sumber maka semakin sulit gelombang pendeteksiannya. Sebaliknya semakin dekat dengan sumber maka kesalahan pendeteksiannya akan semakin kecil. Pada saluran percabangan kesalahan pendeteksiannya lebih besar dibanding dengan penelitian pada saluran tunggal, dikarenakan pada saluran bercabang gelombang akan merambat dan melewati titik persimpangan, sehingga gelombang balik atau gelombang pantulnya yang menuju ke titik gangguan tidak hanya dari satu saluran saja.

#### 4.3.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Pada gangguan dua fasa ke tanah di simulasikan jenis gangguan yang terjadi yaitu *phase A fault*, *phase B fault*, and *ground fault* dengan mengatur jenis gangguannya pada *Block parameter 3 phase fault*. *Fault resistance* diatur pada 0.000001 ohm dengan transisi waktu gangguannya yaitu 0.02 sampai 0.1 detik. Penelitian pada gangguan dua fasa ke tanah disimulasikan pada sepuluh titik saluran dengan pemodelan saluran yang bercabang. Total panjang salurannya 6.49 km dan disimulasikan pada masing-masing saluran.



**Gambar 4.13** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 1.149km

Pada gangguan dua fasa ke tanah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13 gangguan satu fasa ke tanah, yaitu dengan menentukan nilai waktu terdeteksinya gelombang maju (s2) dan gelombang mundur atau arus balik nya (s1). Dari hasil simulasi pada gambar 4.8 dapat ditentukan nilai gelombang maju (s2) yaitu  $t = 0.020088$  detik dan gelombang mundur atau gelombang arus baliknya (s1) yaitu  $t = 0.020099$  detik. kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan dapat dihitung melalui persamaan

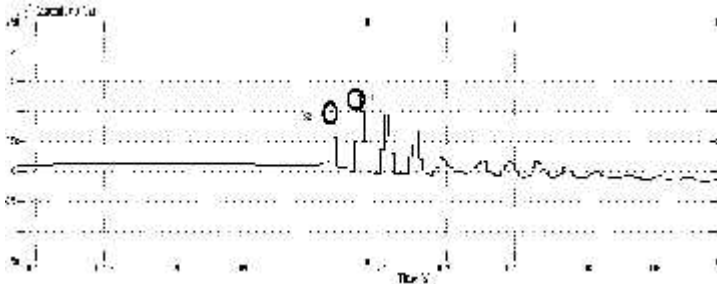
$$(L/C)^{1/2}$$

sehingga kecepatan merambat surja yang di dapat sebesar 213.873 km/s. Untuk mengetahui jarak gangguan dapat di tentukan melalui persamaan

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020099 - 0.020088) \times 1000}{2}$$

sehingga di dapat jarak gangguannya adalah 1.1763015 km dengan selisih antara jarak gangguan dengan jarak sesungguhnya adalah 0.027305. Error perhitungannya adalah

$$Error = \frac{1.1763015 - 1.149}{1.149} \times 100\% = 0.42\%$$



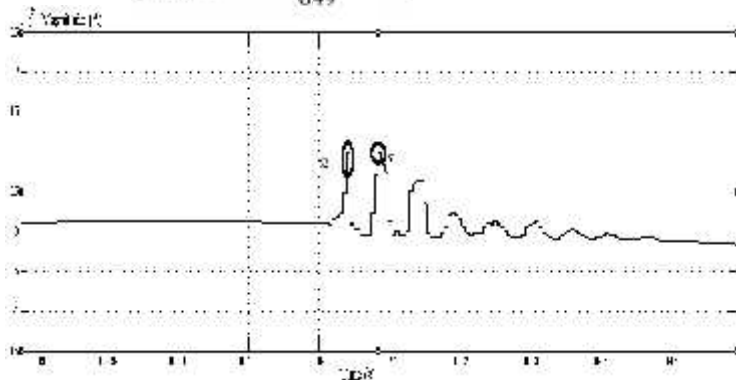
**Gambar 4.14** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 1.998km

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.14 di dapatkan waktu terdeteksi gelombang majunya (s2) yaitu 0.020075 detik dan waktu gelombang mundur nya (s1) yaitu  $t = 0.0200945$ , dengan kecepatan merambat surja gelombang berjalan adalah 213.873 km/s. dengan persamaan

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213.873X(0.0200945-0.020075)1000}{2}$$

dapat diketahui jarak gangguannya adalah 2.08526175 km dengan selisih antara jarak gangguan dengan jarak sesungguhnya adalah 0.08726175. Error perhitungan pada jarak 1,998km adalah

$$Error = \frac{2.08526175 - 1.998}{649} \times 100\% = 1.344\%$$



**Gambar 4.15** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 2.447

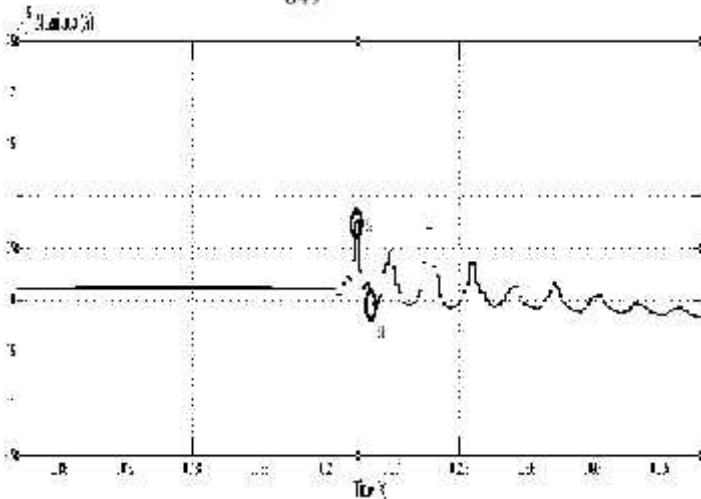


Dari hasil simulasi pada gambar 4.15 di dapat nilai S2 yaitu dari titik puncak maksimal nya dan waktu untuk gelombang mundur nya yaitu titik puncak setelah titik puncak pertama , sehingga ts1 = 0.020109 dan ts2 = 0.020088. Dengan metode gelombang berjalan jarak gangguan pada saluran ini dapat diketahui dengan memasukkan persamaan dibawah ini :

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213873X(0.020109-0.020088)1000}{2} = 2.2456665 \text{ km}$$

Maka terdapat deviasi sebesar 0.201335 km. sehingga error deteksinya sebesar

$$Error = \frac{2.2456655-2.447}{649} \times 100\% = -3.1\%$$



**Gambar 4.16** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 2.796

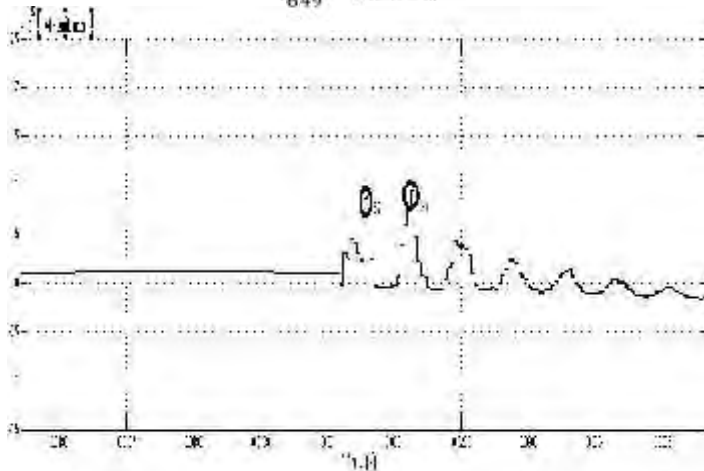
Dari hasil simulasi yang dapat dilihat pada gambar 4.16, gelombang maju (s2) pada gangguan ini yaitu pada puncak magnitude yang pertama dengan waktu terdeteksi yaitu t = 0.0200475 dan waktu arus balik nya atau dapat disebut dengan gelombang mundur (s1) yaitu t = 0.020078. Pada gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 2.796 ini waktu gelombang maju di dapat pada puncak tertinggi dari semua gelombang nya , dan gelombang

mundur di ambil dari gelombang ekstrim setelah gelombang maju, di dapat jarak gangguan pada saluran ini adalah

$$d = \frac{213.873 \times (0.020078 - 0.0200475)1000}{2} = 0.020078 \text{ km}$$

maka selisih antara jarak saluran dengan jarak gangguannya adalah 0.7329045, dengan error perhitungannya sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.020078}{649} \times 100\% = 7.17\%$$



**Gambar 4.17** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 3.745

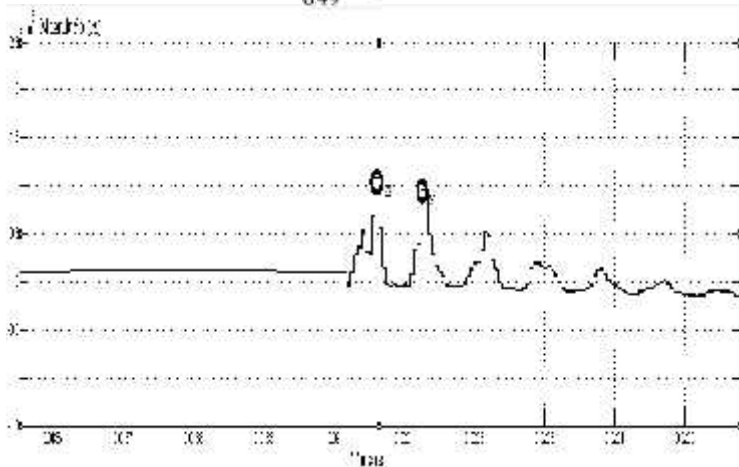
Dari hasil simulasi pada gambar 4.17 bahwa s2 di ambil dari titik turun ekstrim pertama dan gelombang mundur (s1) di ambil dari titik ekstrim turun setelah gelombang puncak maksimalnya. Sehingga di dapat t s2 = 0.020074 dan t s1 = 0.020113. Perhitungan jarak gangguan dengan persamaan

$$d = \frac{V \times (S1 - S2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020113 - 0.020074)1000}{2} = 4.1705235 \text{ km}$$

Selisih antara jarak aktualnya dengan jarak gangguannya adalah 0.4255235 km. Dari perhitungan di dapat bahwa jarak gangguan nya lebih kecil dari pada jarak aktualnya maka kesalahan

pendeteksiannya sesuai dengan persamaan pada gelombang berjalan

$$\text{Error} = \frac{0.4255235}{6.49} \times 100\% = 6.55\%$$



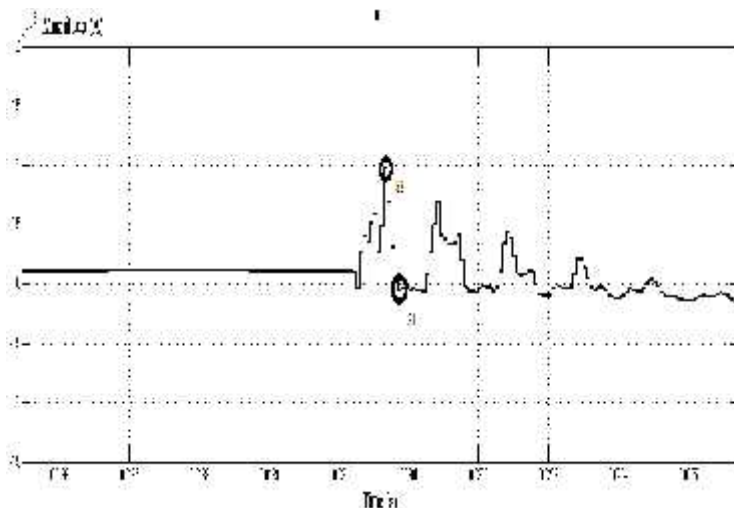
**Gambar 4.18** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 3.994 km

Pada hasil simulasi yang dapat dilihat pada gambar 4.18 di dapatkan gelombang maju (s2) yaitu gelombang yg memiliki magnitudo paling tinggi diantara gelombang lainnya dengan waktu deteksinya yaitu  $t_{s2} = 0.020070$  detik dan gelombang mundur nya (s1) sebagai arus baliknya didapat dari gelombang setelah gelombang puncak maksimalnya dengan waktu yang terdeteksi pada gelombang mundur yaitu  $t_{s1} = 0.020112$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 213.873km/s. Jarak titik gangguan dapat diperoleh melalui persamaan

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020112 - 0.020070) \times 1000}{2} = 4.491333 \text{ km}$$

Selisih antara jarak saluran dengan jarak pada titik gangguan sebesar 0.4977333 km. Error pendeteksian pada saluran 3.994 sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.4977333}{6.49} \times 100\% = 7.65\%$$



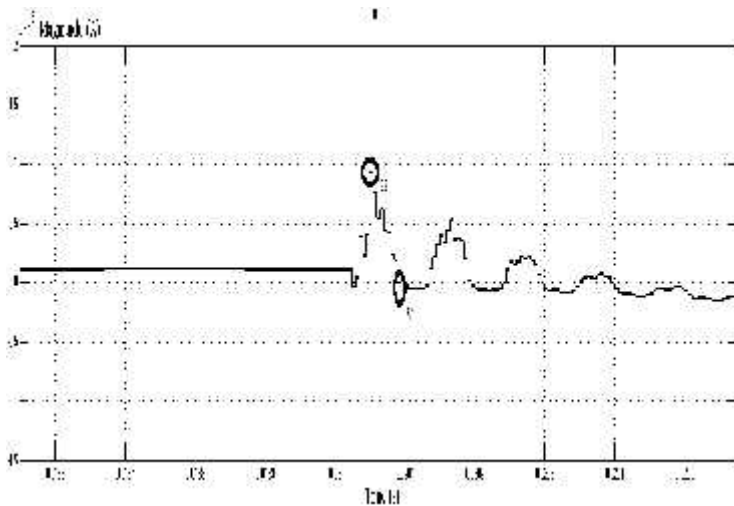
**Gambar 4.19** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 4.543 km

Pada hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.19 dapat dilihat waktu terdeteksinya gelombang maju (S2) yaitu pada saat  $t = 0.020037$  detik , dan gelombang mundur nya (S1) atau gelombang yang kembali ke titik gangguannya terdeteksi saat  $t = 0.020083$  detik. Dengan kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan sebesar 213.873 km/s. Setelah diketahui waktu dari masing-masing puncak gelombang datang dan gelombang baliknya maka didapatkan nilai jarak pada titik gangguan dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan berikut :

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020083 - 0.020037) \times 1000}{2} = 4.919079 \text{ km}$$

Dengan jarak titik gangguan dari sumber adalah 4.9 km, maka adanya deviasi antara panjang saluran dari GI dengan jarak pada titik gangguan yaitu  $4.919079 - 4.53 = 0.376$  km. Sehingga si dapat kesalahan pendeteksiannya pada saluran ini yaitu sebesar

$$Error = \frac{0.376}{6.49} \times 100 \% = 5.79\%$$



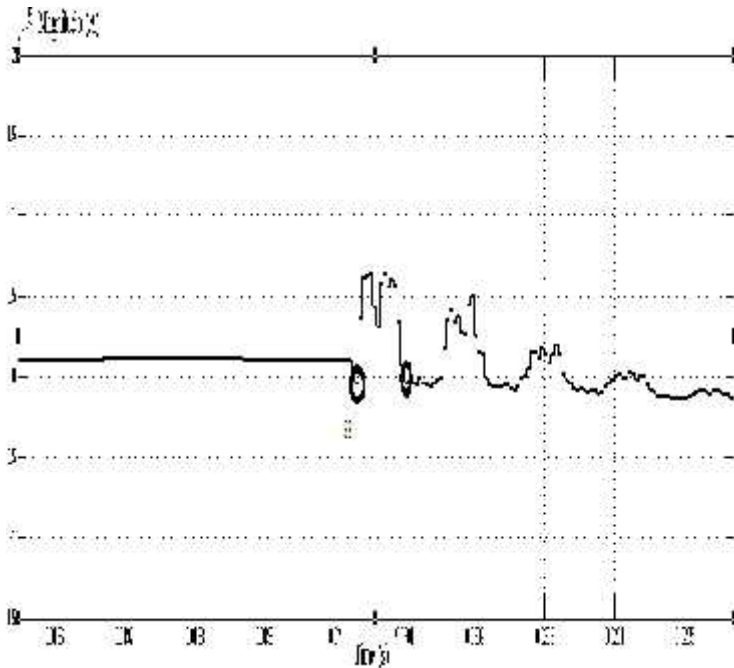
**Gambar 4.20** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 4.842

Pada hasil simulasi didapatkan nilai waktu dari gelombang maju (s2) yaitu  $t = 0.020050$  detik dan nilai waktu pada gelombang mundurnya (s1) adalah  $t = 0.020098$  detik. S2 di dapat pada gelombang puncak tertinggi di banding gelombang lainnya sedangkan gelombang arus baliknya didapatkan pada titik setelah gelombang puncak maksimalnya. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalannya adalah 213.873 km/s. Jarak pada saat titik gangguan dapat diketahui dengan memasukkan nilai pada persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020098 - 0.020050) 1000}{2} = 5.132952 \text{ km}$$

Selisih antara jarak saluran dari GI dengan jarak perhitungan pada titik gangguan adalah  $5.132952 - 4.842 = 0.290952$  km. Kesalahan pendeteksiannya sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.290952}{6.49} \times 100\% = 4.48\%$$



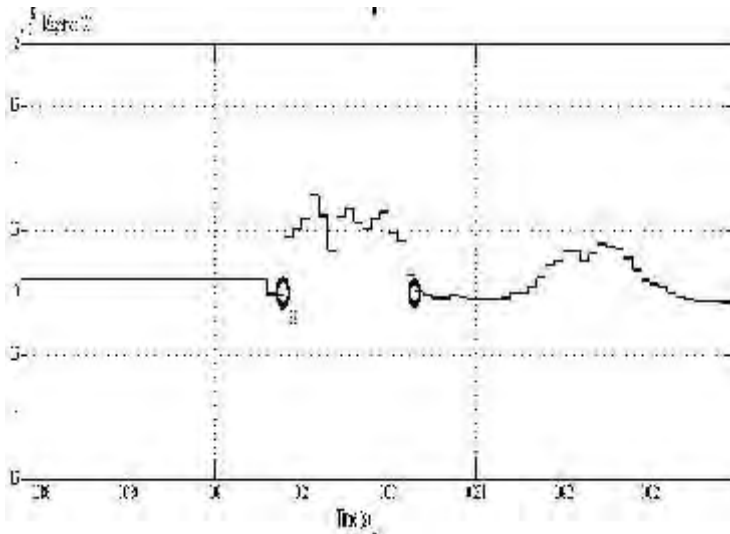
**Gambar 4.21** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 5.64 km

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.21 di dapat waktu deteksi gelombang maju (S2) pada saluran ini yaitu pada saat  $t = 0.020042$ , dan waktu deteksi gelombang mundur (s1) yaitu pada saat  $t = 0.0201$  detik . Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 213.873 km/s. Sehingga jarak pada titik gangguan dapat diketahui melalui persamaan :

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0201 - 0.020042)1000}{2} = 6.202317 \text{ km}$$

Selisih antara jarak pada titik gangguan dengan jarak saluran dari GI yaitu  $6.202317 - 5.641 = 0.561317 \text{ km}$ . *Error* pendeteksian pada panjang saluran 5.641 km adalah sebesar

$$Error = \frac{0.56131}{5.641} \times 100\% = 8.64\%$$



**Gambar 4.22** Gangguan dua fasa ke tanah pada panjang 6.49km

Dari simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.22 didapat bahwa nilai waktu terdeteksi nya gelombang maju (s2) yaitu pada saat  $t = 0.020058$  detik dan gelombang mundur nya (s1) sebagai arus baliknya yaitu pada saat  $t = 0.0201235$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu  $213.873 \text{ km/s}$

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0201235 - 0.020058) \times 1000}{2} = 7.00434 \text{ km}$$

Selisih antara jarak saluran dari GI dengan jarak pada saat titik gangguan adalah  $7.00434 - 6.49 = 0.51434 \text{ km}$ . Error pendeteksiannya adalah sebesar

$$Error = \frac{0.51434}{6.49} \times 100\% = 7.92\%$$

**Tabel 4.2** Gangguan dua fasa ke tanah

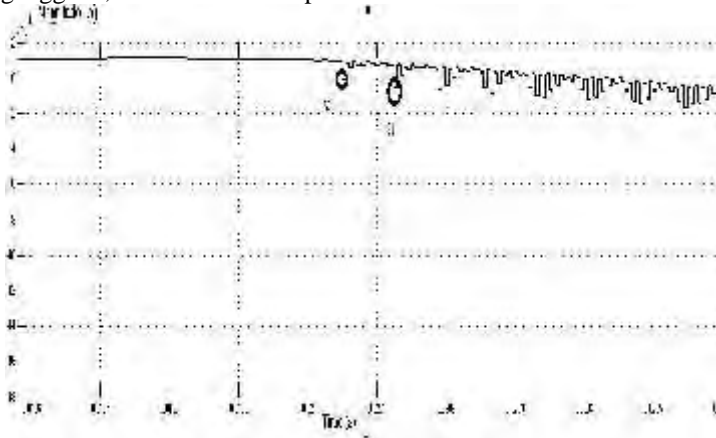
Line	Jarak (km)	S1(detik)	S2(detik)	Jarak titik gangguan	Error
1	1.149	0.020099	0.020088	1.1763	0.42%
2	1.998	0.020094	0.020075	2.0852	1.34%
3	2.447	0.020109	0.020088	2.2456	-3.1%

4	2.796	0.020078	0.020047	0.02008	7.17%
5	3.745	0.020113	0.020074	4.1705	6.55%
6	3.994	0.020112	0.020070	4.4913	7.66%
7	4.543	0.020083	0.020037	4.9190	5.79%
8	4.842	0.020098	0.020050	5.1329	4.48%
9	5.641	0.0201	0.020042	6.2023	8.64%
10	6.49	0.020123	0.020058	7.0043	7.92%

Pada gangguan dua fasa ke tanah di simulasikan dengan mengatur gangguan fasa A, fasa B ke tanah, dari data yang didapat bahwa semakin jauh dari sumber maka kesalahan pendeteksiannya akan semakin besar, sama seperti gangguan satu fasa ke tanah.

#### 4.3.3 Gangguan tiga fasa ke tanah

Pada simulasi gangguan tiga fasa ke tanah sama seperti simulasi sebelum-sebelumnya yaitu dengan menentukan nilai waktu pada saat gelombang maju (s2), nilai waktu pada saat gelombang mundur atau arus baliknya (s1), menentukan jarak pada titik gangguan, menentukan eror pendeteksian.



**Gambar 4.23** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 1.149km

Pada simulasi di dapat nilai waktu untuk gelombang maju (s2) yaitu pada saat  $t = 0.020035$  dan waktu untuk gelombang mundurnya (s1) atau gelombang arus baliknya pada saluran ini yaitu pada saat  $t = 0.020046$ . Kecepatan merambat surja pada gelombang

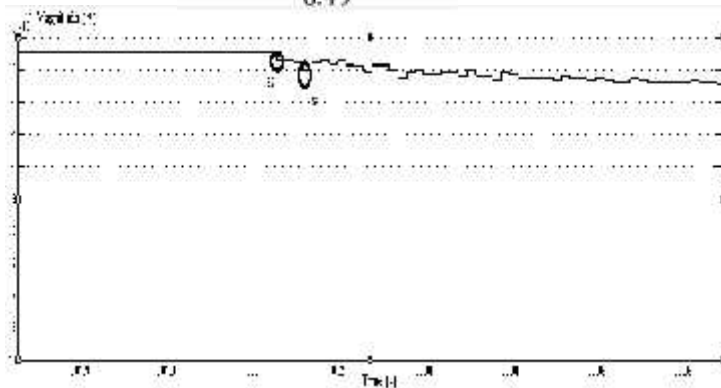


berjalan yaitu 213.873 km/s. Sehingga dapat diketahui jarak saat titik gangguan

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020046 - 0.020035) 1000}{2} = 1.1763015 \text{ km}$$

Sehingga terdapat deviasi antara panjang saluran dengan jarak pada titik gangguan yaitu sebesar 0.0273 km. Kesalahan pendeteksian pada saluran ini sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.0273}{6.49} \times 100\% = 0.42\%$$



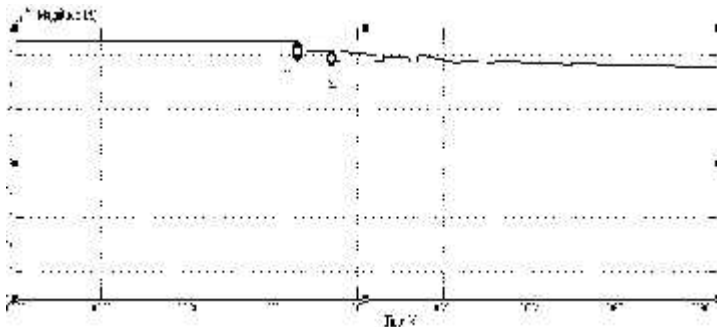
**Gambar 4.24** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 1.998km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020050$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020070$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020070 - 0.020050) 1000}{2} = 2.13873 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.14073 km, maka dapat diketahui error pendeteksian sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.14073}{6.49} \times 100 = 2.17\%$$



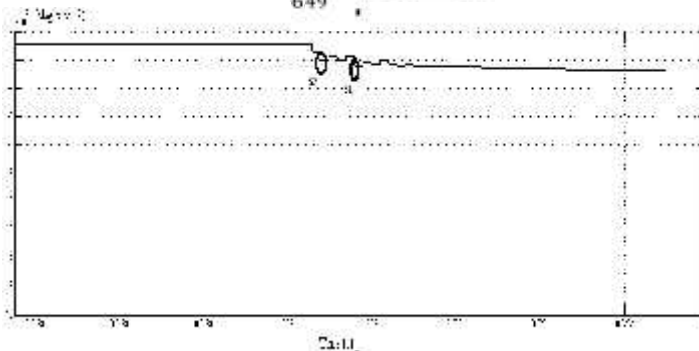
**Gambar 4.25** Gangguan Tiga Fasa ke Tanah pada jarak 2.447km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020017$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020040$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020040 - 0.020017) \times 1000}{2} = 2.4595 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.0125395 km, maka dapat diketahui error pendeteksiannya sebesar

$$\text{Error} = \frac{0.0125395}{649} \times 100 = 0.19\%$$

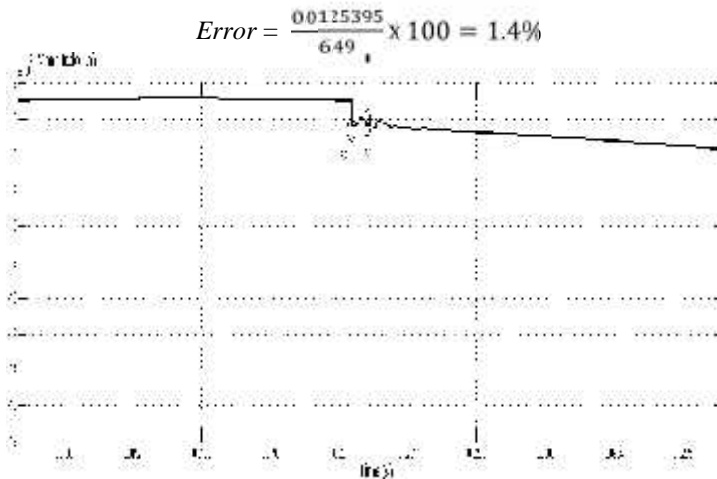


**Gambar 4.26** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 2.796 km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020015$ , dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020042$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berrjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020042 - 0.020015) 1000}{2} = 2.8873 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.0912855 km, maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar



**Gambar 4.27** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 3.745

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020012$ , dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020048$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berrjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020048 - 0.020012) 1000}{2} = 3.849714 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0,104714 km, maka dapat diketahui error pendeteksiannya sebesar :

$$Error \frac{0.104714}{649} \times 100 = 1.613\%$$

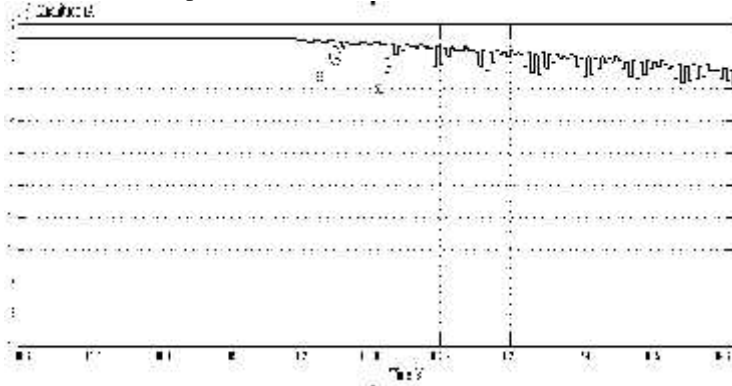
**Tabel 4.3** Gangguan tiga fasa ke tanah

Line	Jarak (km)	S1(detik)	S2(detik)	Jarak titik gangguan	Error
1	1.149	0.020046	0.020035	1.17630	0.42%
2	1.998	0.00070	0.020050	2.1387	2.17%
3	2.447	0.020040	0.020017	2.4595	0.19%
4	2.796	0.020042	0.020015	2.8873	1.4%
5	4.842	0.020048	0.020012	3.8497	1.61%

Pada simulasi gangguan tiga fasa ke tanah dapat dilihat bahwa hasil simulasi menunjukkan eror yang kecil, begitupun dengan jaraknya. Pada penelitian gangguan tiga fasa ini hanya diamati pada 5 saluran.

#### 4.3.4 Gangguan Fasa ke Fasa (fasa A, fasa B, fasa C)

Pada simulasi gangguan fasa ke fasa sama seperti simulasi sebelum-sebelumnya yaitu dengan menentukan nilai waktu pada saat gelombang maju (s2), nilai waktu pada saat gelombang mundur atau arus baliknya (s1), menentukan jarak pada titik gangguan, menentukan eror pendeteksian.



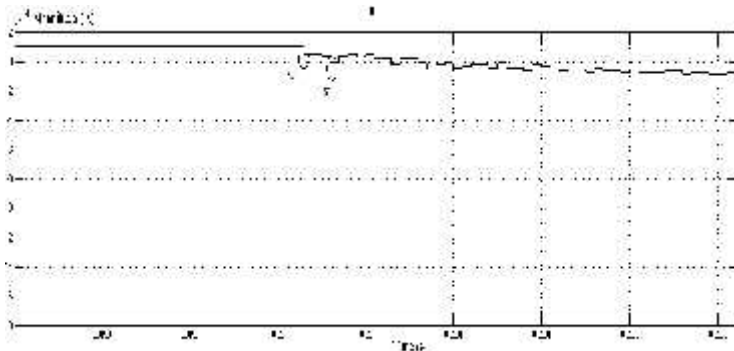
**Gambar 4.28** Gangguan fasa ke fasa pada jarak 1.149 km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020089$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.0201$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu  $231.873 \text{ km/s}$ , maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0201 - 0.020089) 1000}{2} = 1.1763015 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar  $0.0273 \text{ km}$ , maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar :

$$\text{Error} = \frac{0.0273}{649} \times 100 \approx 0.42\%$$

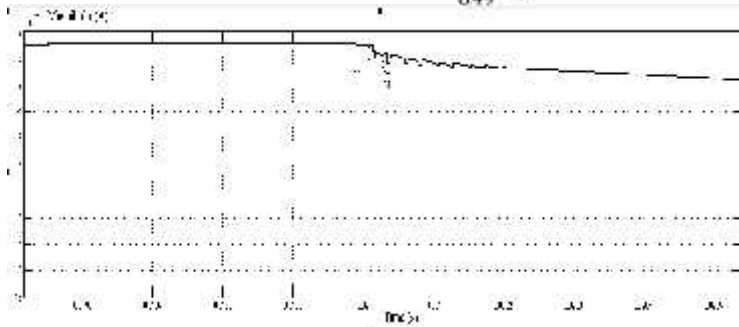


**Gambar 4.29** Gangguan fasa ke fasa pada jarak  $1.998 \text{ km}$

Dari hasil simulasi yang terlihat pada gambar 4.29 gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020045$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020064$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu  $231.873 \text{ km/s}$ , maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020064 - 0.020045) 1000}{2} = 2.0317935 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.03379 km, maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar  $\frac{0.03379}{649} \times 100 = 0.52\%$

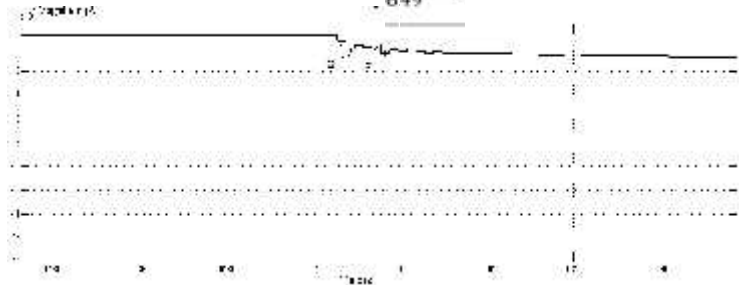


**Gambar 4.30** Gangguan fasa ke fasa pada jarak 2.447 km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020018$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020042$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020042 - 0.020018) \times 1000}{2} = 2.566476 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.119476 km, maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar  $\frac{0.119476}{649} \times 100 = 1.84\%$

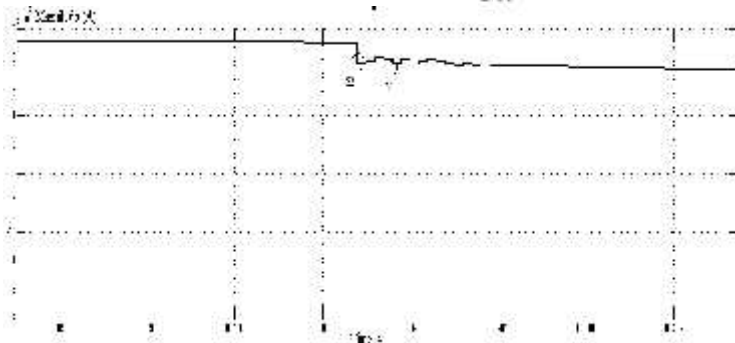


**Gambar 4.31** Gangguan fasa ke fasa pada jarak 2.796 km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020014$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020042$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{VX(S_1 - S_2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020042 - 0.020014)1000}{2} = 2,994222 \text{ km}$$

Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.198222km, maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar :  $\frac{0.198222}{649} \times 100 = 3.05\%$



**Gambar 4.32** Gangguan fasa ke fasa pada jarak 3.745km

Dari hasil simulasi gelombang maju (s2) terdeteksi pada saat  $t = 0.020013$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.0200485$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{VX(S_1 - S_2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0200485 - 0.020013)1000}{2} = 23.796245 \text{ km}$$

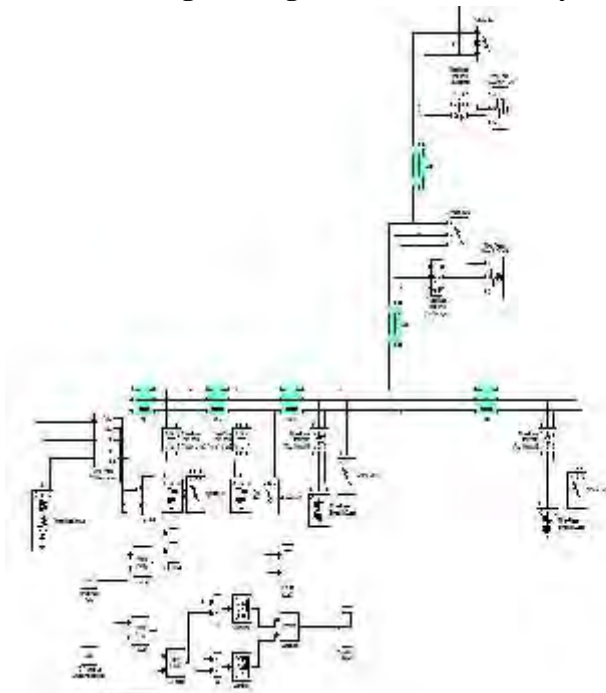
. Adanya selisih antara jarak pada saat titik gangguan dengan panjang salurannya sebesar 0.051245km, maka dapat diketahui *error* pendeteksiannya sebesar  $\frac{0.051245}{649} \times 100 = 0.73\%$

**Tabel 4.4** Gangguan fasa ke fasa

Line	Jarak (km)	S1(detik)	S2(detik)	Jarak titik gangguan	Eror
1	1.149	0.0201	0.020089	1.17630	0.42%
2	1.998	0.020064	0.020045	2.03179	0.52%
3	2.447	0.020042	0.020018	2.56647	1.84%
4	2.796	0.020042	0.020014	2.99422	3.05%
5	4.842	0.020048	0.020013	3.79624	0.78%

Pada simulasi gangguan fasa ke fasa hasil simulasi menunjukkan eror yang kecil pula seperti halnya pada gangguan tiga fasa ke tanah, begitupun dengan jaraknya. Magnitudo gelombangnya pun kecil. Maka Pada penelitian gangguan tiga fasa ini hanya diamati pada lima saluran.

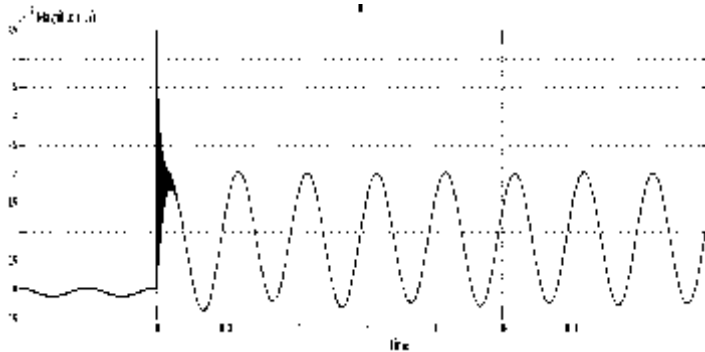
#### 4.4. Perbandingan Dengan Pemodelan Lainnya



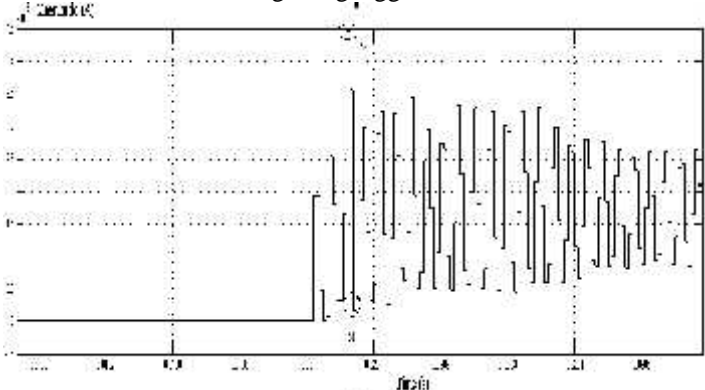
**Gambar 4.33** Pemodelan lain sebagai pembanding



#### 4.4.1 Gangguan satu Fasa ke tanah



**Gambar 4.34** Gelombang asli gangguan satu fasa

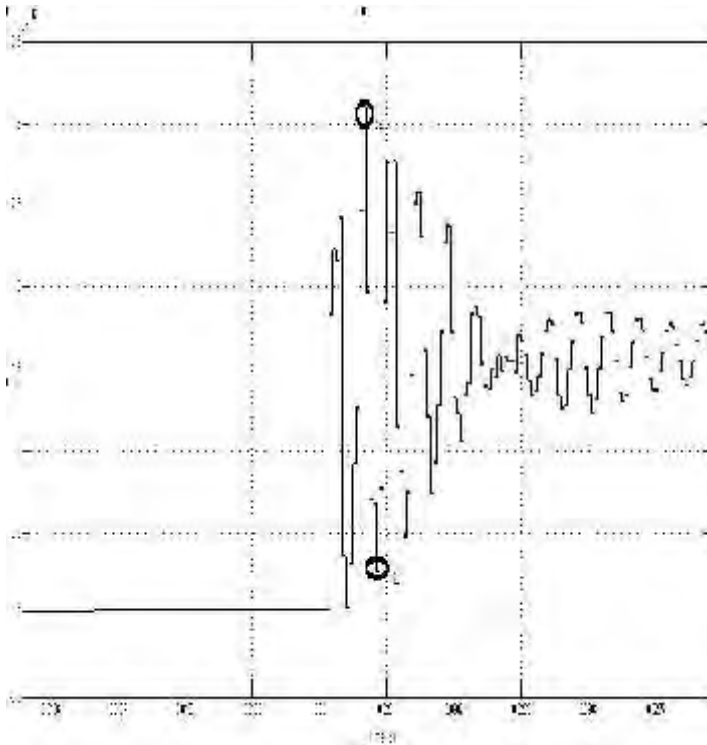


**Gambar 4.35** Gangguan satu fasa pada jarak 1.149km

Dari hasil simulasi yang terlihat pada gambar 4.35 gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 1.149km saat  $t = 0.020064$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020075$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020075 - 0.020064) \times 1000}{2} = 1.1763 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{1.1763 - 1.149}{6.49} \times 100 = 0.42\%$$

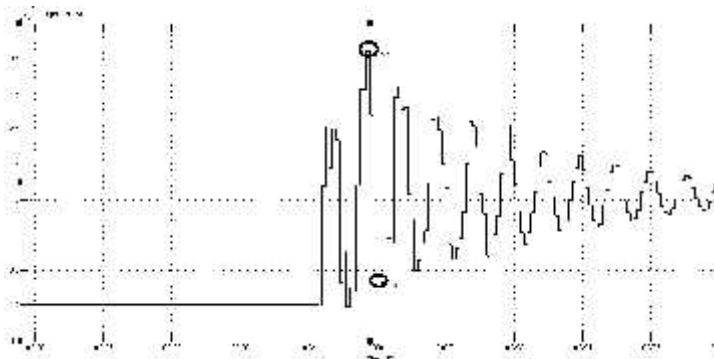


**Gambar 4.36** Gangguan satu fasa pada jarak 1.998km

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.36 di dapat bahwa gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 1.998 km saat  $t = 0.020079$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020098$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020098 - 0.020079) \times 1000}{2} = 2.0318 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.0318 - 1.998}{6.49} \times 100 = 0.52\%$$

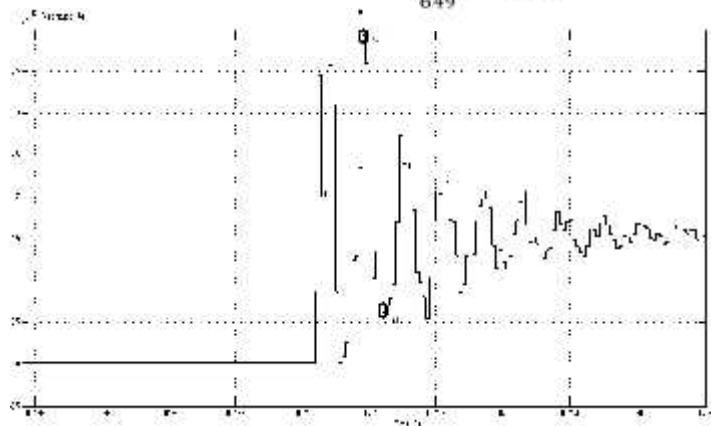


**Gambar 4.37** Gangguan satu fasa pada jarak 2.447km

Dari hasil simulasi di dapat gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 2.447km saat  $t = 0.020078$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.0201$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu  $231.873 \text{ km/s}$ , maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.0201 - 0.020078)1000}{2} = 2.3526 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.3526 - 2.447}{649} \times 100 = 1.45\%$$

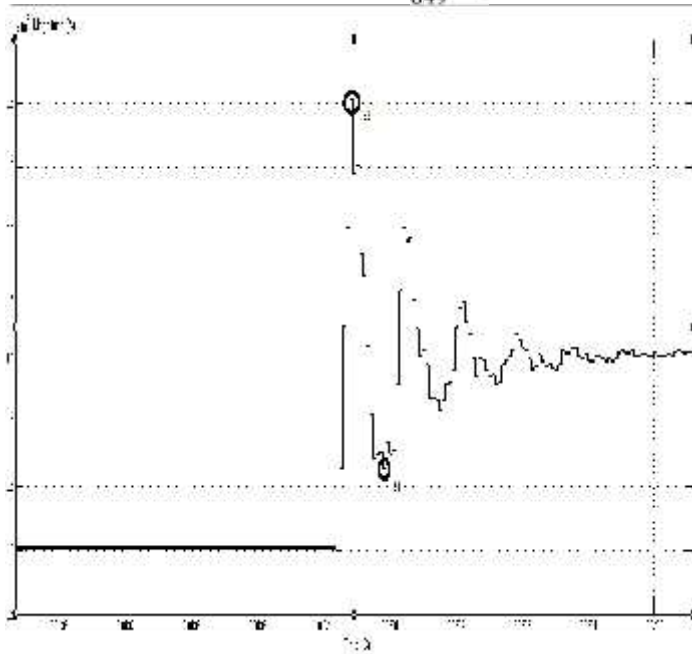


**Gambar 4.38** Gangguan satu fasa pada jarak 2.796km

Dari hasil simulasi di dapat gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 2.796 km saat  $t = 0.020079$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020107$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020107 - 0.020079) \times 1000}{2} = 2.994 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.994 - 2.796}{6.49} \times 100 = 3.05\%$$



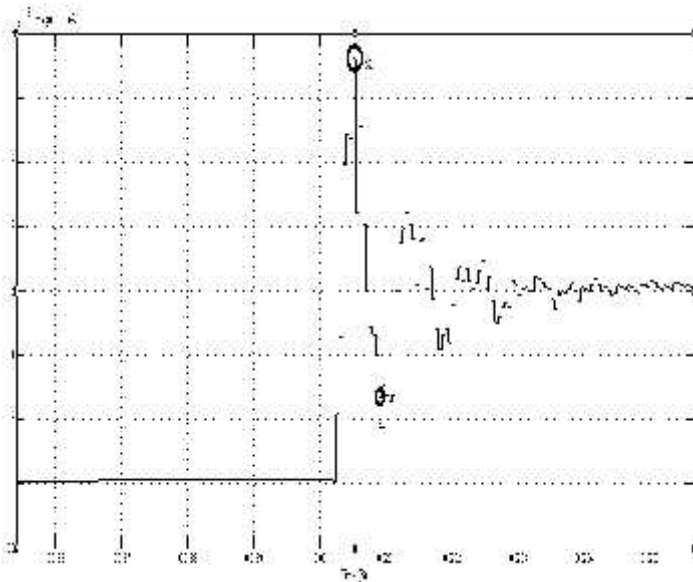
**Gambar 4.39** Gangguan satu fasa pada jarak 3.745km

Dari hasil simulasi di dapat gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 3.745 km saat  $t = 0.020045$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020077$

detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020077 - 0.020045) 1000}{2} = 3.4219 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{3.4219 - 3.745}{6.49} \times 100 = 4.97\%$$

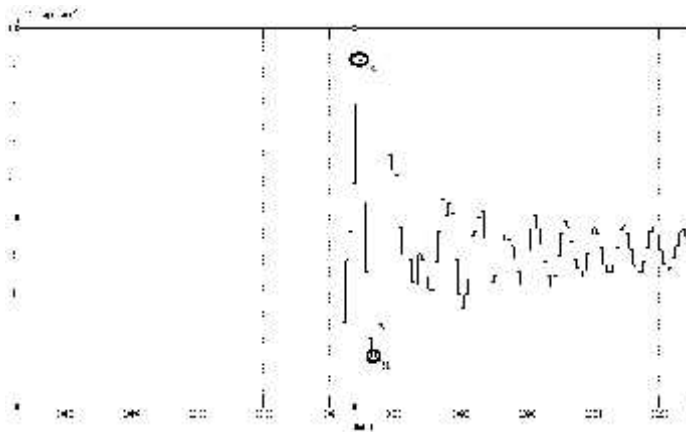


**Gambar 4.40** Gangguan satu fasa pada jarak 3.994km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.40 di dapat gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 3.994 km saat  $t = 0.020050$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020088$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S_1 - S_2) 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020088 - 0.020050) 1000}{2} = 4.277 \text{ km}$$

$$Error \text{ pendeteksiannya sebesar } \frac{4.277-3.994}{649} \times 100 = 4.36\%$$



**Gambar 4.41** Gangguan satu fasa pada jarak 4.543km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.41 di dapat gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 4.543 km saat  $t = 0.020038$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020077$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020077 - 0.020038) \times 1000}{2} = 4.1705 \text{ km}$$

$$Error \text{ pendeteksiannya sebesar } \frac{4.1705-4.543}{649} \times 100 = 5.74\%$$

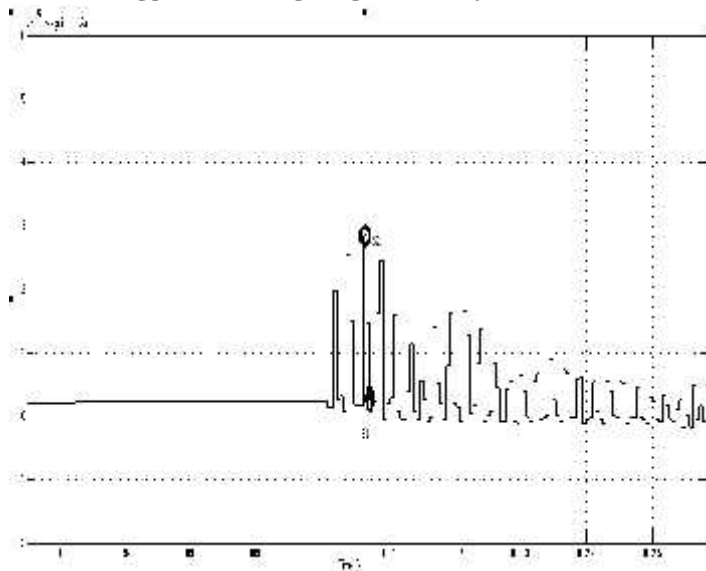
**Tabel 4.4** Akumulasi Jarak Gangguan satu fasa ke tanah dengan pemodelan lain

Line	Jarak (km)	S2(detik)	S1(detik)	Jarak pd titik gangguan	Error
1	1.149	0.020064	0.020075	1.1763	0.42%
2	1.998	0.020079	0.020098	2.0318	0.52%
3	2.447	0.020078	0.0201	2.3526	1.45%
4	2.796	0.020079	0.020107	2.994	3.05%

5	3.745	0.020045	0.020077	3.4219	4.97%
6	3.994	0.020050	0.020088	4.277	4.36%
7	4.543	0.020038	0.020077	4.1705	5.74%

Setelah melakukan penelitian di dapatkan bahwa metode gelombang berjalan dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi gangguan satu fasa ke tanah pada lebih dari satu macam pemodelan jaringan distribusi radial.

#### 4.4.2 Gangguan Hubung Singkat Lainnya

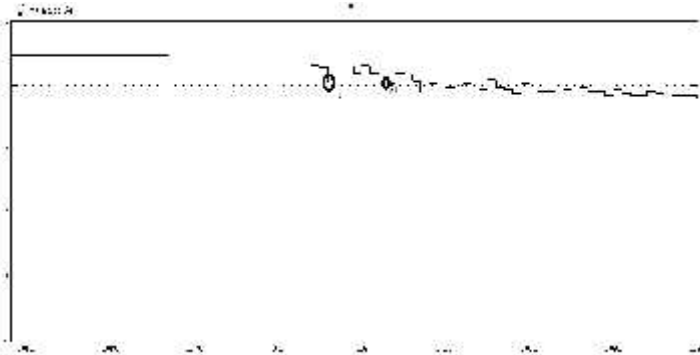


**Gambar 4.42** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 1.149km

Dari hasil simulasi dengan mengatur jenis gangguan dua fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 1.149 km saat  $t = 0.020064$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020075$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020075 - 0.020064) 1000}{2} = 1.1763 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{4.1705 - 4.543}{649} \times 100 = 0.42\%$$



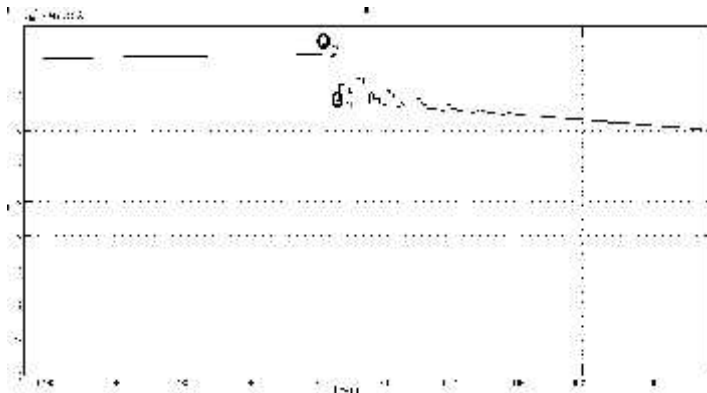
**Gambar 4.43** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 1.998 km

Dari hasil simulasi dengan mengatur jenis gangguan tiga fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 1.998 km saat  $t = 0.020044$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020062$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020062 - 0.020044) 1000}{2} = 1.9248 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{1.9248 - 1.998}{649} \times 100 = 1.13\%$$



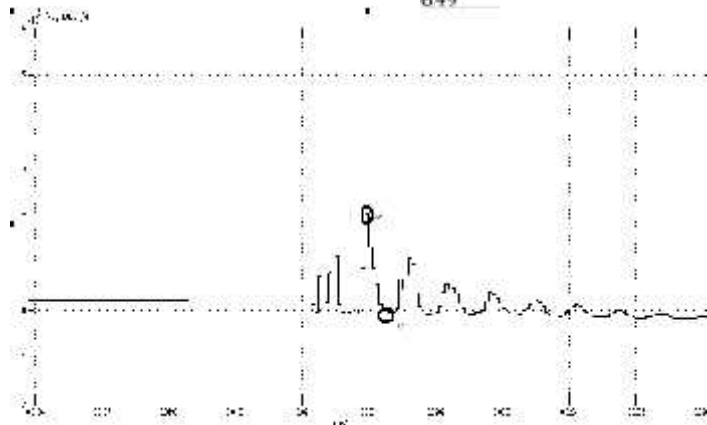


**Gambar 4.44** Gangguan dua fasa pada jarak 2.447 km

Dari hasil simulasi dengan mengatur jenis gangguan dua fasa gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 2.447 km saat  $t = 0.020018$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020041$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{VX(S1-S2)1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020041 - 0.020018)1000}{2} = 2.4595 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.4595 - 2.447}{6.49} \times 100 = 0.19\%$$

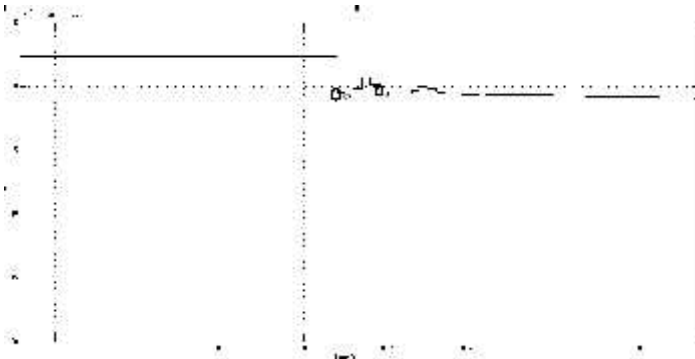


**Gambar 4.45** Gangguan dua fasa ke tanah pada jarak 2.796 km

Dari hasil simulasi dengan mengatur jenis gangguan dua fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 2.796 km saat  $t = 0.0201$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020122$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020122 - 0.0201) \times 1000}{2} = 2.5506 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.5506 - 2.796}{6.49} \times 100 = 3.78\%$$

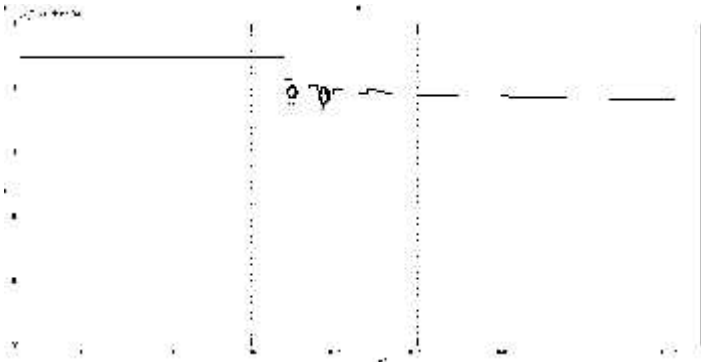


**Gambar 4.46** Gangguan tiga fasa ke tanah pada jarak 3.745 km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.46 dengan mengatur jenis gangguan tiga fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 3.745 km saat  $t = 0.020018$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020053$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020053 - 0.020018) \times 1000}{2} = 3.8497 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{3.8497 - 3.745}{6.49} \times 100 = 1.61\%$$

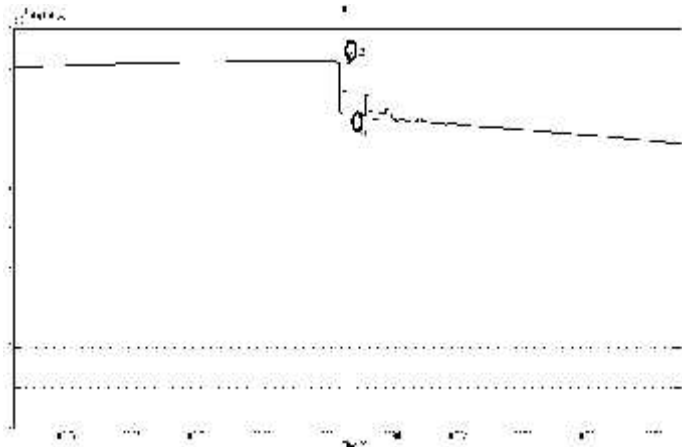


**Gambar 4.47** Gangguan tiga fasa pada jarak 3.994 km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.47 dengan mengatur jenis gangguan tiga fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 3.994 km saat  $t = 0.020014$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020048$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873 km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020048 - 0.020014) \times 1000}{2} = 3.6358 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{3.6358 - 3.994}{6.49} \times 100 = 5.52\%$$



**Gambar 4.48** Gangguan dua fasa pada jarak 4.54 km

Dari hasil simulasi pada gambar 4.48 dengan mengatur jenis gangguan tiga fasa ke tanah gelombang maju (s2) terdeteksi pada jarak 4.54 km saat  $t = 0.020007$  detik, dan gelombang mundur atau arus baliknya (s1) terdeteksi pada saat  $t = 0.020048$  detik. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020048 - 0.020007) \times 1000}{2} = 4.384 \text{ km}$$

Error pendeteksiannya sebesar  $\frac{4.384 - 4.54}{4.54} \times 100 = 2.44\%$

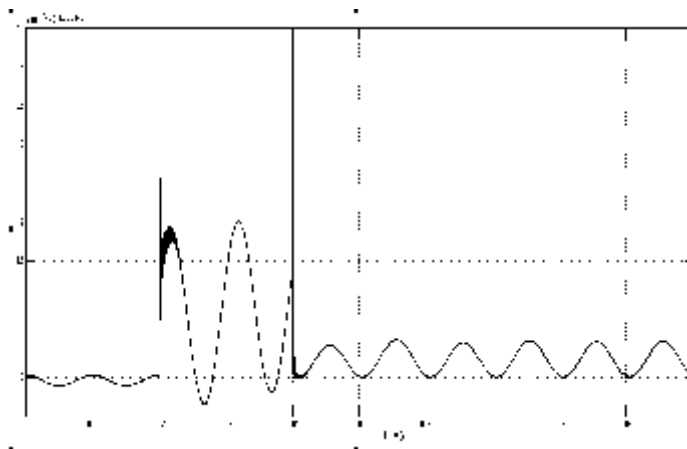
**Tabel 4.5** Akumulasi Gangguan Hubung Singkat

Line	Jarak (km)	Jenis gangguan	S2(detik)	S1(detik)	Jarak pd titik gangguan (km)	Error (%)
1	1.149	A-B-G	0.020064	0.020075	1.1763	0.42
2	1.998	A-B-C-G	0.020044	0.020062	1.9248	1.13
3	2.447	A-B-	0.020018	0.020041	2.4595	0.19
4	2.796	A-B-G	0.0201	0.020122	2.5506	3.78
5	3.745	A-B-C-G	0.020018	0.020053	3.8497	1.61
6	3.994	A-B-C	0.020014	0.020048	3.6358	5.52
7	4.54	A-B	0.020007	0.020048	4.384	2.44

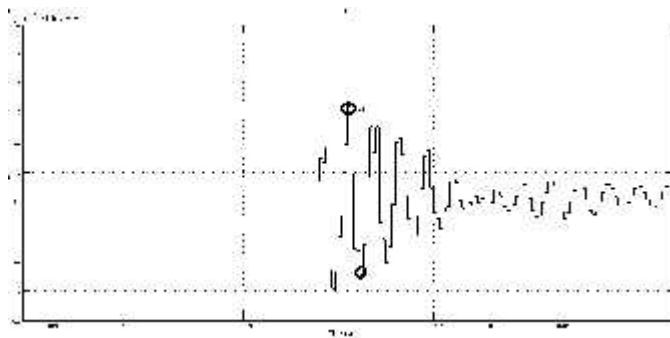
Setelah melakukan penelitian di dapatkan bahwa metode gelombang berjalan dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi gangguan dengan macam-macam gangguan pada lebih dari satu macam pemodelan jaringan distribusi radial.

#### 4.5 Gangguan Hubung Singkat pada lebih dari satu titik lokasi

Dengan memberikan jenis gangguan yang berbeda dengan transition time yang berbeda, maka di dapat gelombang pendeteksian sebagai berikut :



**Gambar 4.49** Gangguan pada jarak 1.998 km dan 4.543 km

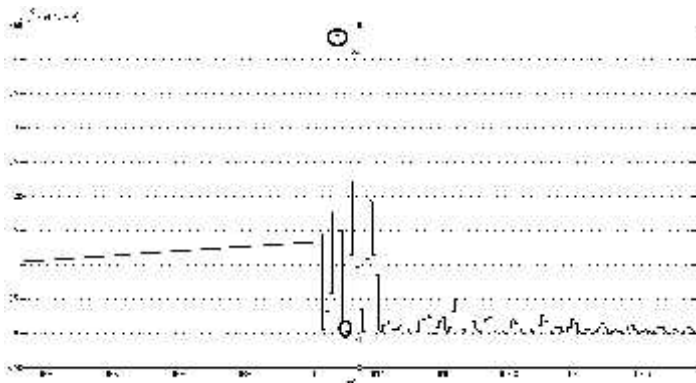


**Gambar 4.50** Gangguan pada jarak 1.998 km

Pada jarak 1.998 km di pasang gangguan satu fasa ke tanah dengan transition time 0,02 -0.1 s, maka di dapat dari hasil simulasi dengan nilai gelombang maju (S2) adalah  $t = 0.020078s$  dan gelombang pantulnya dengan nilai 0.020097s. Kecepatan merambat surja pada gelombang berjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) \times 1000}{2} = \frac{231.873 \times (0.020097 - 0.020078) \times 1000}{2} = 2.0317 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{2.0317 - 1.998}{649} \times 100 = 0.52\%$$



**Gambar 4.51** Gangguan pada jarak 4.543 km

Pada jarak 4.543 km di pasang gangguan satu fasa ke tanah dengan transition time 0,04 -0.125 s, maka di dapat dari hasil simulasi dengan nilai gelombang maju (S2) adalah  $t = 0.020050s$  dan gelombang pantulnya dengan nilai 0.020088s. Kecepatan merambat surja pada gelombang berrjalan yaitu 231.873km/s, maka jarak pada saat titik gangguan adalah

$$d = \frac{V \times (S1 - S2) 1000}{2} = \frac{213.873 \times (0.020088 - 0.020050) 1000}{2} = 4.17052 \text{ km}$$

$$\text{Error pendeteksiannya sebesar } \frac{4.17052 - 4.543}{6.49} \times 100 = 5.74\%$$

Setelah melakukan penelitian di dapatkan bahwa metode gelombang berjalan juga dapat digunakan untuk mendeteksi lokasi gangguan lebih dari dua titik pada saluran distribusi radial dengan percabangan.

*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 KESIMPULAN**

Dari studi tentang deteksi gelombang berjalan pada jaringan distribusi dengan percabangan menggunakan metode gelombang berjalan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin jauh jarak saluran dari sumber maka kesalahan pendeteksiannya akan semakin besar, dengan eror terbesar yang di dapat dari penelitian ini adalah sebesar 8.75%
2. Kesalahan pendeteksiian dapat juga diakibatkan karena adanya gelombang pantul dari saluran percabangannya. .
3. Kesalahan pendeteksiian pada saluran bercabang lebih besar dibanding saluran tunggal, dapat dilihat dari hasil simulasi bahwa eror terbesar pada saluran percabangan mencapai 8,75% sedang pada saluran tunggal hanya mencapai 6.6%.
4. Pada gangguan fasa ke fasa kesalahan pendeteksiian sangat kecil, pada hasil penelitian di dapat eror terbessar sekitar 3.05%
5. Dalam mendeteksi lokasi gangguan dengan menggunakan mtode gelombang berjalan akan lebih akurat apabila diberi alat deteksi pada ujung-ujung jaringan distribusi.
6. Metode gelombang berjalan dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung singkat pada macam-macam pemodelan jaringan distribusi radial dengan percabangan dan dapat digunakan untuk mendeteksi lebih dari satu titik gangguan.

### **5.2 SARAN**

Penggunaan gelombang berjaan mempunyai kemampuan yang akurat dalam menentukan lokasi ganggua, sehingga perlu adanya pengembangan lebih lanjut salah satunya dengan menambahkan program untuk menentukan titik gelombang maju dan mundurnya secara tepat dan cepat.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.J. Ferreira and A.E. Emanuel, "A Noninvasive Technique for Fault Detection And Location", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol 25, No.4, 2010
- [2] Jen-Hao TENG, "A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems", Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A) Vol. 24, No. 4, 2000
- [3] Salim R.H, Resener. M, Filomena A.D, Caino de Oliveira K.R, and Bretas A.S. (2009), "Extended Fault-Location Formulation for Power Distribution Sistem", *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol 24, No.2
- [4] Risqiwati. Diah, "Deteksi Lokasi Gangguan Multi Point Pada Jaring Tiang Distribusi 20 KV Dengan Menggunakan Metode Perambatan Gelombang Sinyal Arus Balik. *Prosiding Materi Seminar Tugas Akir*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- [5] Reddy B.R, Kumar M.V, Kalavathi M.S, Kumar P.R, "Localization of Faults on Power Transmission Lines Using Traveling Wave Theory", *ARPJ Journal of Engineering and Applied Scienses*, Vol. 5, No. 3, 2010
- [6] Suswanto Daman., "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*" Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang, 2009.
- [7] R. Apel, C. Jaborowicz, R. Küssel, ABB Utility Automation GmbH, Germany. "*Fault Management in Electrical Distribution Networks*", IEEE Transactions On Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) , Volume:3, Juni 2001
- [8] Penangsang, Ontoseno, "*Analisis Aliran Daya*", ITS Press, Surabaya, 2012
- [9] Saadat, Hadi, "*Power System Analysis (Second Edition)*", McGraw-Hill Education (Asia), Singapura, 2004
- [10] Gonen. T, "Electric Power Transmission System Engineering", John Willey and Sons, California, 1988

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP



Radhyana Alamah Amania dilahirkan di Semarang, 10 April 1990 merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh :

SDN Sriwulan 1 Semarang 1996 - 2002

SMP Darussalam 3 Ngawi 2002 – 2005

SMA Darussalam 3 Ngawi 2005 – 2008

Politeknik Negri Semarang 2009 – 2012

Setelah lulus dari Politeknik Negri Semarang

Jurusan D3 Teknik Elektronika pada tahun

2012, penulis melanjutkan studinya ke Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga program Lintas Jalur Angkatan 2012 – Genap. Alamat email yang bisa dihubungi [diana.amania@gmail.com](mailto:diana.amania@gmail.com).